

スラリー状廃滓の圧密特性

三浦 哲彦*・福田 直三**・山本 修三***

Consolidation Characteristics of Slurry Wastes

Norihiro MIURA, Naozo FUKUDA and Osami YAMAMOTO

Abstract

This paper deals with the consolidation characteristics of slurry wastes in relation to the geotechnical processing of the wastes for utilization as fill materials. The samples tested were red mud discharged from alumina manufacturing plants, white mud from a soda ash factory, and sludge from a filtration plant. The consolidation characteristics of the slurry wastes were comparably discussed with those of the clay and high organic soils.

類の廃滓について圧密特性を調べたものである。

1. まえがき

浄水場や化学工場から排出される各種スラリー状廃滓は、一時的に沈澱池に貯留された後に相当の費用を使って脱水、運搬、投棄しているのが現状である。中でも産業廃棄物に指定されている廃滓の場合は取扱いが厳しく規制されており敷地内での貯留廃棄を余儀なくされていることが多い。この場合は、スラリー状廃滓からいかに効果的に脱水させるかが貯留スペースの確保と処理費用の面から重要な問題となってくる。

現在、フィルタープレスなど機械的方法による脱水、天日乾燥による脱水などの方法が講じられているが必ずしも合理的ではない、他の1つの方法として土質工学的に脱水処理することが考えられる。すなわち、スラリー状廃滓を貯留池に堆積する過程で一定厚さ毎に水平にドレーン材を設置していけば比較的短期間に下方の層は自重による圧密が進行し、また上層に対しては一時的盛土によって圧密を促進させることができる。

上述の方法に加えてドレーン材から真空吸引すれば一層大きな圧密効果を期待することができよう¹⁾²⁾。

本報告は、土質工学的的方法によるスラリー状廃滓の脱水処理工法に関して、その基礎資料を得るべく数種

2. 実験試料

2.1 赤泥(ボーキサイト滓)

アルミナ原料であるボーキサイトは、アルミナ、酸化けい素、酸化鉄、酸化チタン等を含むが、これを粉砕しカセイソーダで溶解させる過程で排出される不溶解残渣は酸化鉄を主成分としており赤褐色を呈しているところから赤泥と呼ばれている³⁾。

本実験では九州の2つの工場から排出された赤泥を調べた。それらの化学成分は Table 1 に示されている。普通の土に比べて酸化ソーダと酸化チタンの含有量が多い、pH 値は、赤泥Mでは pH=12.0、また亜硫酸ガス処理した赤泥 S では pH=9.0 であった。

赤泥の粒度曲線および物理的性質は Fig. 1 および Table 2 のとおりであった。本試料の塑性図上の位置は Fig. 2 に示しているが、自然含水比試料の $P.I. \sim w_L$ プロットに対して空気乾燥、炉乾燥試料のそれは A 線に沿って移動し液性限界値は10~15%低下する。

2.2 白泥

ソーダ灰、リン酸、氷晶石を製造する宇部市の化学工場から排出されるスラリーは、Table 3 の化学組成を有しており乳白色であっていわゆる白泥の1種である。沈澱池のスラリーは250~300%の含水比であるが、これを沓過機に通して含水比50%程度のケーキ状となし、遠隔地に運んで埋立材としているのが現状で

* 建設工学科

** 復建調査設計(株)

*** 建設工学科

Table 1 Chemical component of red mud

Component	Ig. loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Total
Sample M (%)	8.72	7.52	19.19	47.30	8.32	3.81	0.32	4.32	0.32	99.82
Sample S (%)	9.32	17.24	21.15	33.23	6.64	2.69	0.44	9.28	0.14	100.18

(九州工業技術試験所による分析結果)

Table 2 Physical properties of samples

Sample		w _n (%)	e _n	G _s	w _L (%)	P. I. (%)	Classification
Red mud	M	143	4.32	3.64	66.8	32.5	MH
	S	116	3.61	3.15	67.5	33.1	MH
White mud	B	110	3.15	2.86	90.0	37.1	CH
	D	145	4.21	2.90	135.1	61.7	CH
	E	120	3.41	2.84	122.0	64.1	CH
Sludge	A	671	17.98	2.68	340.9	257.8	CH
	B	305	7.90	2.59	280.7	208.2	CH
	C	456	11.90	2.61	267.8	202.8	CH
	D	355	9.51	2.68	209.8	159.9	CH
	E	410	10.62	2.59	220.5	167.5	CH

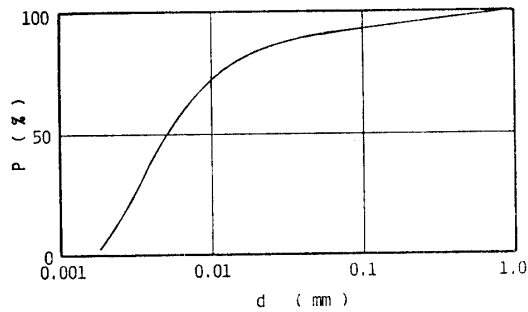


Fig. 1 Grading of red mud

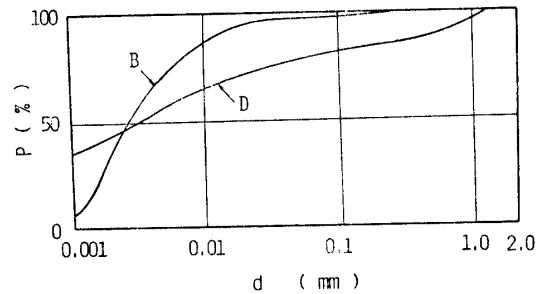


Fig. 3 Grading of white mud

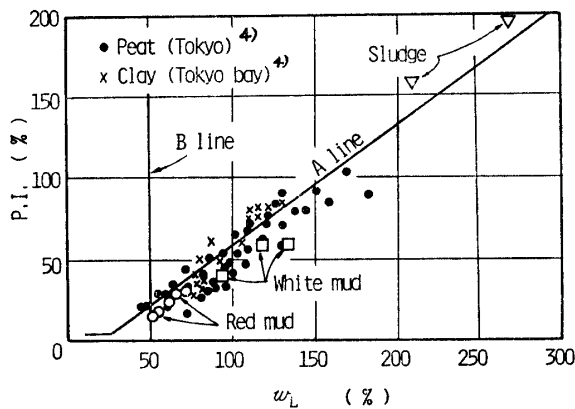


Fig. 2 Plasticity chart

ある。

本実験では沈澱池の3箇所から採取した試料を用いたが、それらの粒度曲線は Fig. 3 に示すようであった。また、物理的性質については前出 Table 2 にまとめて示している。液性限界、塑性指数は普通の粘土や赤泥に比べてかなり高いようである。

2.3 浄水スラッジ

浄水場から排出されるスラッジは、かつては希釈して河川放流していたのであるが昭和51年6月に水質汚濁防止法が施行されてからは特定施設の中に含まれ厳しい規制を受けるようになった。

スラッジは原水に含まれていた微粒粘土質、浄水過

Table 3 Chemical component of white mud

	CaSO ₄ ·2H ₂ O	CaCO ₃	NaCl	Mg(OH) ₂	CaF ₂	3Ca ₃ (PO ₄) ₂ ·CaF ₂	SiO ₂	Total
(%)	15	30	5	15	10	15	10	100

(セントラルガラス(株)宇部工場による分析結果)

Table 4 Chemical component of sludge

Component	Ig. less	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	NgO	MnO ₂	Total
Percent	16.58	42.93	31.46	4.08	3.99	0.26	0.54	99.84

(宇部市水道局による分析結果)

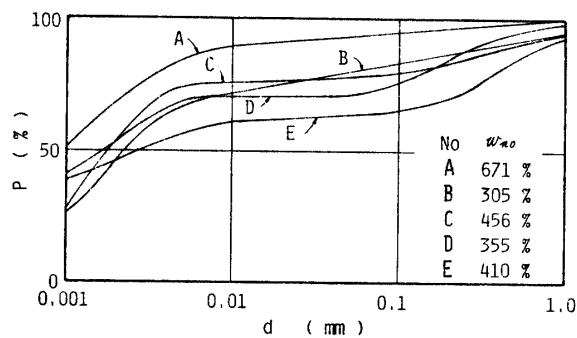


Fig. 4 Grading of sludge

程で使用される沈澱凝集剤などを含んでおり、Table 4の化学組成を有している。その処理方法については、機械的処理、天日乾燥などが考えられているが決め手となる処理システムは確立されていない。

実験試料は宇部市広瀬浄水場から採取した。その粒度曲線は Fig. 4 に示すようであった。また、物理的性質は Table 2 に示している。コンシステンシー特性は Fig. 2 にみられるように赤泥や白泥とはかなり異なっており、泥炭に近い性質であることがわかる。これは16~17%の有機物を含有しているためであろう。

一般の高有機質土と同じように試料を乾燥させるとコンシステンシーは著しく低下する。本試料の場合、自然含水状態では液性限界が210~330%であったものが十分気乾させた後に測定すると75~90%まで低下する。

3. 圧密特性

3.1 赤泥

2つの試料について標準圧密試験を行い Fig. 5 に示す $e \sim \log \sigma_v$ 関係を得た。これより圧縮指数は0.61~0.71程度であることがわかった。圧密圧力の増加に

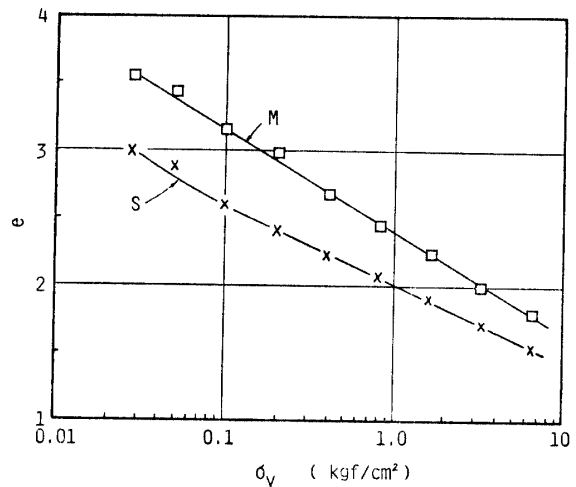


Fig. 5 $e \sim \log \sigma_v$ curve of red mud

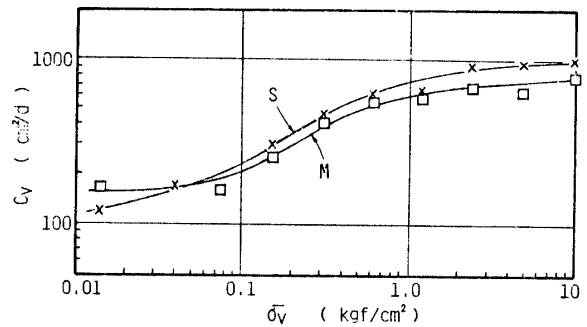


Fig. 6 Coefficient of consolidation of re mud

伴う圧密係数 c_v の変化は Fig. 6 のようであった。 c_v の値は、実験の範囲で 100~1000 cm²/d 程度であって普通の飽和粘土の値と大きな違いはない。透水係数は同じ圧密圧力の範囲で $7 \times 10^{-6} \sim 7 \times 10^{-5}$ cm/min であった。

3.2 白泥

標準圧密試験による $e \sim \log \sigma_v$ 曲線は Fig. 7 に示すとおりであった。圧縮指数は0.97~1.47というかな

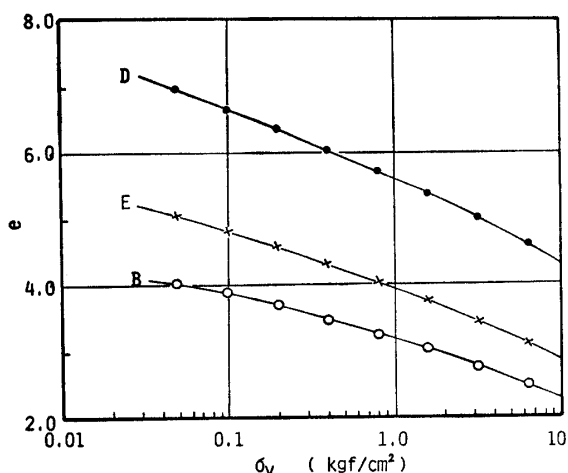


Fig. 7 $e\text{-}\log \sigma_v$ curve of white mud

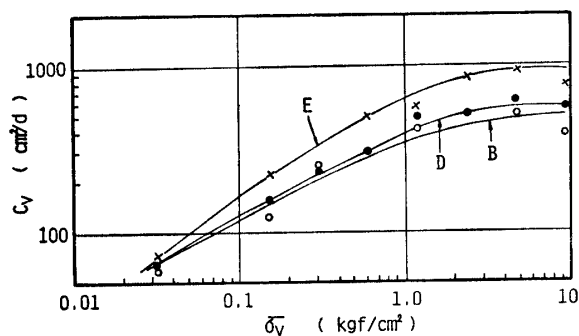


Fig. 8 Coefficient of consolidation of white mud

り大きな値であった。また、圧密係数の値は Fig. 8 に見られるように 70~700 cm²/d の程度であり赤泥と類似の値であった。

3.3 浄水スラッジ

浄水スラッジの初期間隙比は16~17と非常に高く、 $e\text{-}\log \sigma_v$ 特性も普通粘土、白泥、赤泥などとは異なっている。Fig. 9 に見られるように、圧密圧力が 1.0 kgf/cm² より小さい範囲では圧縮指数 C_c は4.0以上の極めて大きな値を示すが、圧力が 1.0 kgf/cm² より高いところでは $C_c=2.0$ 程度に低下してくる。圧密係数は Fig. 10 に示すように 10 cm²/d 程度の小さな値であり赤泥や白泥の1/10の大きさである。これより、スラッジの圧密には他のスラリーより長い時間を要することが知れる。

3.4 一般粘土との比較

本実験で調べた3つのスラリー廃滓の圧密特性を一般の粘土、有機質粘土の特性値と比較検討する。

Fig. 11 は液性限界と圧縮指数の関係をプロットしたものである。3つの廃滓はおおむね埋立粘土や炭灰

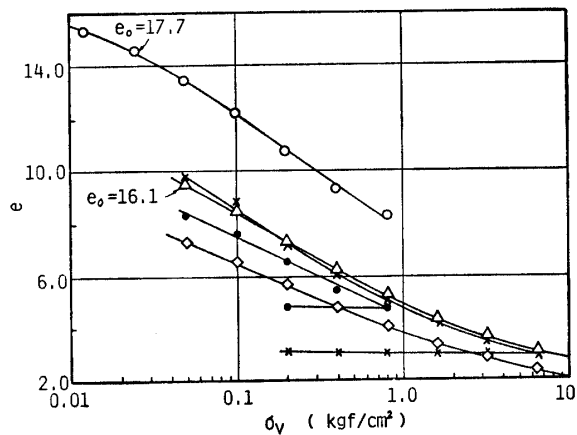


Fig. 9 $e\text{-}\log \sigma_v$ curve of sludge

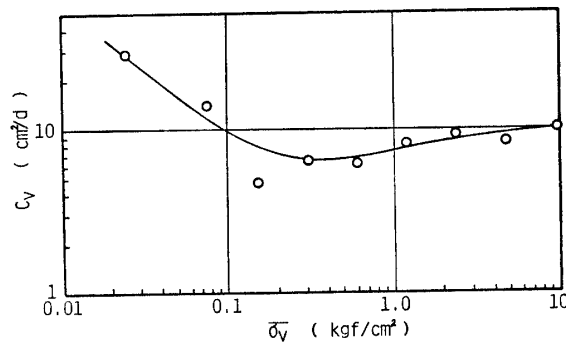


Fig. 10 Coefficient of consolidation of sludge

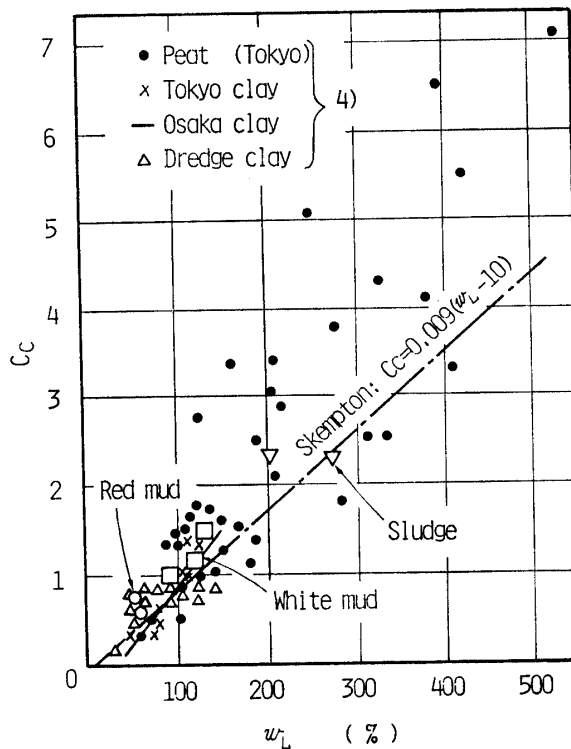


Fig. 11 Relationship between C_c and W_L

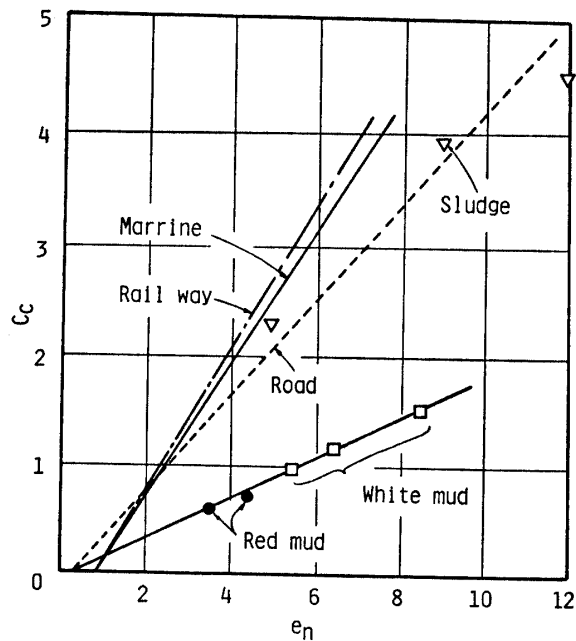


Fig. 12 Relationship between C_c and e_n

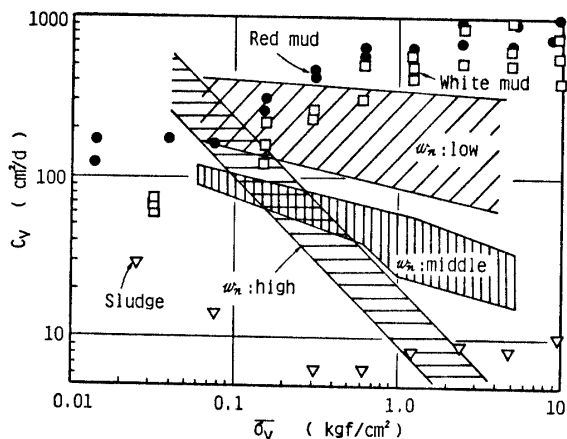


Fig. 13 Comparison of c_v with other soils

の分布範囲にあり、またスケンプトンの実験式よりやや高めの圧縮指数であることがわかる。次に、自然間隙比と圧縮指数の関係は Fig. 12 のようであり、赤泥と白泥は他の材料とは異なった特性を有することがわかる。

Fig. 13 は、圧密圧力の増加に伴う圧密係数の変化を一般の粘土と比較して示したものである。赤泥と白泥は自然含水比の低い飽和粘土と類似の変化をみせているのに対して、浄水スラッジでは自然含水比の高い粘土と同じような値となっている。この結果から赤泥と白泥の圧密は通常の飽和粘土と同じような経過で圧密は進行することが予測される。これに対して浄水スラッジの場合は泥炭や有機質土と類似の圧密沈下～時間曲線を示すことになろう。したがって、浄水スラッ

ジについては2次圧密特性を詳しく検討しておく必要がある。

4. 圧密による強度増加率

圧密による非排水せん断強度の増加率 c_u/p を調べるために、各試料について圧密後に一軸圧縮試験ならびに一面せん断試験を行った。Fig. 14 はその結果を

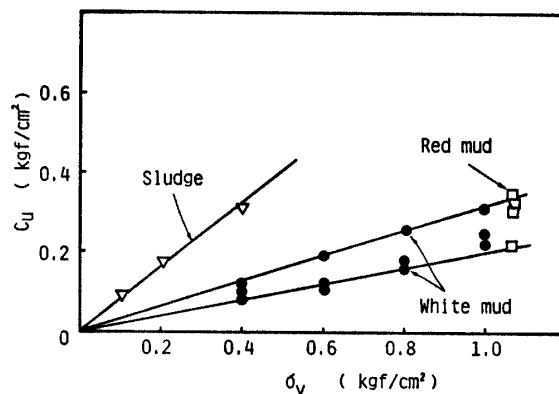


Fig. 14 Determination of c_u/p

まとめたものである。赤泥および白泥の c_u/p 値は0.2～0.3と正規圧密粘土よりやや低い値となっている。一方浄水スラッジの場合は $c_u/p=0.8$ とかなり高く、泥炭等の c_u/p の値に匹敵する大きさである。この結果より、浄水スラッジでは、圧密の進行には時間を要するが圧密による地盤改良効果は普通の粘土よりも大きいと推測される。

5. まとめ

各種スラリー状廃滓を土質工学的手法で圧密脱水し地盤として利用することを念頭において基礎実験を行った。得られた結果を要約すると次のとおりである。

アルミナ工場から排出される含水比100%程度の赤泥は、物理的性質およびコンシステンシー特性は埋立粘土と類似してが、圧縮性は比較的小さく、また、圧密による強度増加率も0.2～0.3程度である。したがって、スラリー状赤泥を水平ドレーン工法で圧密し地盤材料として利用することは十分可能であるが、所要地耐力を得るには普通の粘土より若干大きめの圧密荷重を必要としよう。脱水された水は高いアルカリ性を示す場合があるので注意が必要である。

ソーダ工場から出る含水比250～300%の白泥は、赤泥より高い塑性を有しているが、圧密特性および圧密による強度改良特性は赤泥と良く類似している、水平

ドレーン工法, 特に真空脹水を併用した工法により効果的に圧密脱水することが可能である²⁾と推測される。

浄水場から排出されるスラッジは, 沈澱池に貯留された状態でも500~600%の高含水比を有しており間隙比は17という非常に不安定な状態である。その物理的性質や圧密特性は高有機質土に類似している。圧密による強度増加率は0.8とかなり高い。圧密係数が通常の粘土の1/10程度であるので圧密に時間を要するが, ドレーン材の合理的配置によって圧密を促進することで対処できよう。それゆえ, スラッジを地盤材料として利用することは可能であるといえる。なお, スラッジに対する水平ドレーン工法の適用については, 宇部市広瀬浄水場の敷地内において現場実験を実施し現在観測中である。その結果については後日公表したい。

本実験に用いた試料のうち, 赤泥は九州工業技術試験所, 白泥はセントラル硝子(株), また浄水場スラッジ

は宇部市水道局からそれぞれ提供していただいた。関係各位に御礼申し上げます。また, 赤泥の実験は本学卒業生新開佳行君(現熊谷組), 白泥については同じく辻晃一君(現植村組)によって行われたものである。付記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 三浦哲彦・藤村龍太郎: 第15回土質工学研究発表会, p. 1689 (1978).
- 2) 三浦哲彦・山本修三・東勝彦: 第33回土木学会中国四国支部研究発表会, p.191 (1981).
- 3) 軽金属製錬会: 産業公害, 13, 764 (1977).
- 4) 稲田倍穂: 軟弱地盤における土質工学, 鹿島出版会, (1981). p.44
- 5) 土質工学会: 土質調査試験結果の解釈と適用例, (1979). p.170

(昭和59年4月7日受理)