

金沢大学工学部 正 員 西田 義親

" " 八木 則男

" 学生員 塩見 博司

1. はじめに

粘土の力学特性は、粘土粒子骨格構造に影響されることが多い。しかし、現在までの研究では、粘土構造を支配する粒子配列が、定量的に把握されてはいないことと、同様の性状、例えば、塩濃度、PH、吸着イオンの種類、等の相違が、複雑に影響していることが、その解明を難しいものになっている。

ここでは、異なる吸着陽イオンが、粘土の力学特性に及ぼす影響を解明するために、ベントナイト粘土の陽イオン交換試料に対して、強度試験を行って結果について報告する。

2. 試料の作製と実験方法

1) 試料の作製順序¹⁾ 試料の作製については、市販ベントナイト(以後、Natural-Bentoと呼称)に1N-HClを加え、塩酸処理を施し、 $\text{Cation-Bento} + \text{HCl} \rightarrow \text{H-Bento} + \text{Cation-Cl}$ の化学反応を起こす。次に、この反応により、ベントナイトから遊離したイオンを希釈するため、脱イオン水洗浄を行う。この処理は、PH 2.0以上ではおぼろげである。そして、これを塩化物の1N溶液を加え、各陽イオン Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} で交換を行った後、エタールアルコール及び脱イオン水で洗浄する。これは、3液でPH 6.5以上にはした時に洗浄を終了する。このようにして得た陽イオン交換ベントナイト粘土を、それぞれ、Mg-Bento, Ca-Bento, K-Bento, Na-Bento と呼称する。これは、60℃前後で乾燥した後、乳鉢で粉碎し、250μ以下の粒径のものを実験用試料とする。

2) 実験方法 セン断試験は、一面セン断試験機による圧密排水試験を行った。試料は液性限界以上で練造したもの、Na-Bentoについては、1.0, 1.25, 1.5 kg/cm²の圧密圧力で、他のMg-Bento, Ca-Bento, K-Bento, H-Bentoについては、0.5, 1.0, 1.5 kg/cm²の圧密圧力で圧密した。これを正規圧密供試体について、セン断速度 0.04 mm/minで排水一面セン断試験を行った。

3. 実験結果

1) 物性試験結果 Fig-1に示された粒径加積曲線より、5μ以下のいわゆる粘土分(%)の大小関係は、陽イオンの種類別に示せば、

$$\text{Na} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{H}$$

となっている。これは、各陽イオンの電気的影響と、粉碎エネルギーの影響であると思われる。また、Table-1に物性試験結果を示せば、これよりわかることは、各試料のLL, PL, PI, 及び I_pの各指標について、

2. 陽イオンの種類別に示せば、全2の指標について、

$$\text{Na} > \text{K} > \text{H} > \text{Ca} > \text{Mg}$$

となる。これは、陽イオン電荷数が小さい程、物性試験の各指標は大きい値をもつことを表わすものと思われる。

2) セン断試験結果 セン断試験は在来型一面セン断試験機を用いて行い、各試料の強度定数は、Table-2に示す結果を得た。各試料のφ_uについては、

$$\text{Na} > \text{K} > \text{H} > \text{Ca} > \text{Mg}$$

の大小関係が見られる。これは、物性試験の場合とは逆に、陽イオンの電荷数が大きい程、大きいセン断ピーク強度を持つことが

	Liquid Limit	Plastic Limit	Plasticity Index	Flow Index	Specific Gravity
Natural Bento	188.0	58.9	129.1	24.5	2.55
Na Bento	264.8	42.1	222.7	45.1	2.49
K Bento	123.9	41.2	82.7	28.6	2.48
H Bento	120.3	42.6	77.7	15.8	2.50
Ca Bento	96.3	38.5	55.8	12.8	2.48
Mg Bento	87.2	41.0	45.2	10.7	2.48

Table-1 物性試験結果

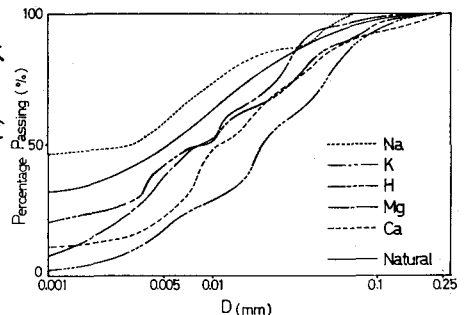


Fig-2 粒径加積曲線

わかる。また、各圧密圧力のセメント試験終了時のセメント断面付近の含水比 W とセメント断面強度との関係を Fig-2 a)~e)に示す。

4. 考察

物理学的性質によつて生ずる応力要素を考慮して、2つの粘土粒子間の静的な力のつり合式は、²⁾

$$\sigma = \bar{\sigma} + u + R - A$$

σ : 合応力 u : 間隙水圧 $\bar{\sigma}$: 粒子の固体間に作用する単位面積当りの粒子間力 A : 粒子の接近した部分に作用する引力 R : 粒子の接近部以外に作用する電気的斥力

と表わされる。Rosengvistによれば、 $\bar{\sigma}$ は極めて小さく、粘土の有効応力は、主に $R-A$ であると考えられる。

本実験で用いたベントナイトのような、粒子表面の活性の大きい粘土では、粒子間の直接の接触は小さいであろうと思われる。したがって、 $\bar{\sigma}$ より電気的斥力や引力であることの R, A がベントナイトの力学特性を支配的に決定すると考えられる。そして、 R, A は吸着イオンの種類によつて変化すると思われるので、ベントナイトの強度もその影響を受けるであろう。本実験では、吸着陽イオンと強度定数 ϕ_α 及び、粘性試験の指標として、 PL, I_f の間に、

$$\phi_\alpha : Na < K < H < Ca < Mg$$

$$LL, PL, I_f : Na > K > H > Ca > Mg$$

のような関係が見え出した。

また、 ϕ_α と流動指数 I_f の相関の間に Fig-3 に示すような一次の関係が見え出した。Fig-4 には Skempton³⁾によつて示された C_u/p と $P.I.$ との関係と同様の ϕ_α と $P.I.$ の関係を示している。これは三軸試験で得られた結果と同様の傾向を持つことになった。

5. あとがき

本実験で明らかにした事は、

1. ベントナイト粘土に吸着する陽イオンの種類、主に電荷の強さが粘土の強度に影響し、電荷の大きいもの程、強度が大きくなる。
2. 強度定数 ϕ_α と流動指数 I_f の相関の間に、一次の関係が得られた。

Fig-3 ϕ_α と I_f の関係

6. 参考文献

- 1) 大島 英次: 粘性土の圧縮性とその強度に関する物理学的研究、金沢大学大学院学位論文、1974
- 2) 粘土力学研究グループ: 粘土の力学(土と基礎) 12-8 1964
- 3) 最上武雄編: 土力学、I, II セン

	ϕ_α°	$C_d \text{ kg/cm}^2$
Na-Bento	11.3	0
K-Bento	13.5	0
H-Bento	20.0	0
Ca-Bento	20.9	0
Mg-Bento	23.8	0

Table-2 強度定数

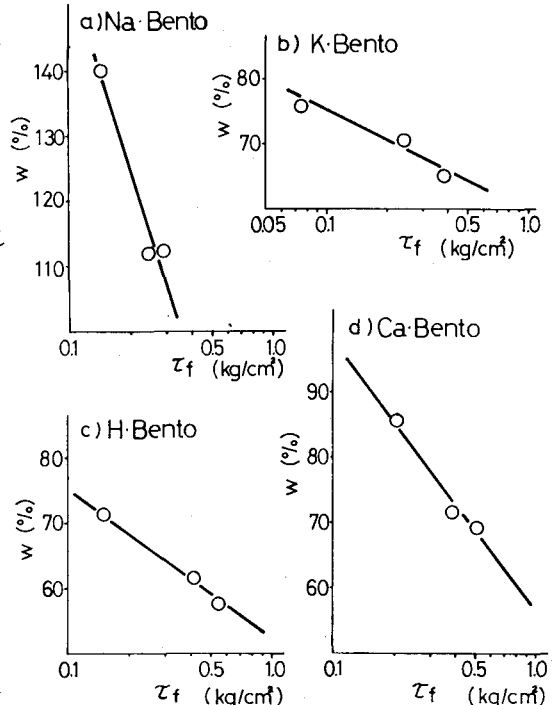


Fig-2 a)~e) 含水比 W とセメント断面強度の関係

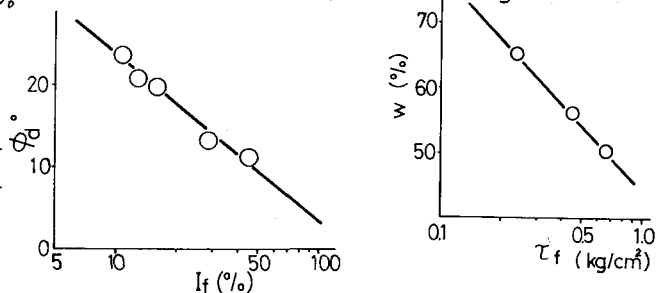


Fig-3 ϕ_α と I_f の関係

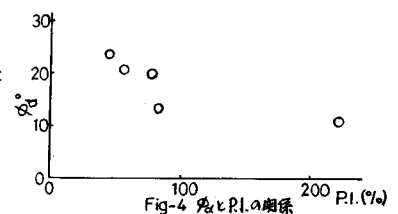


Fig-4 ϕ_α と $P.I.$ の関係