

## 安定処理した有明粘土の圧密定体積せん断特性

甲本 達也・加来 研・藤本 昌宣\*

(農業造構学教室)

昭和61年6月16日 受理

### Characteristics of Consolidated Constant-Volume Shear of Stabilized Ariake Clay.

Tatsuya KOUMOTO, Ken KAKU and Masanobu FUJIMOTO

(Laboratory of Construction Engineering)

Received June 16, 1986

#### Summary

This paper describes the results of the consolidated constant-volume shear tests which were carried out on the very soft Ariake marine clay treated with cement (Portland cement), quicklime, and Soilmaster (a cement-like agent), whose mix ratio was ranged from 1.0 to 6.0 percent by weight, and then cured for 28 days at a constant temperature (23 °C) and relative moisture content (100%).

The particle size analysis on the treated soils showed that the soils treated with cement and quicklime were changed from clay to sandy soil as increasing the mix ratio of agent, while the soil treated with Soilmaster was stayed as clay, and that quicklime was the most effective agent among these to improve the characteristics of particle size.

The results of consolidated constant-volume shear tests showed that, generally, as the mix ratio of agent increased, the compressive strain in the consolidation process decreased and the shear strength increased. All the envelope lines, the lines of peak values of shear stress and the lines drawn by plotting the peak values over each consolidation pressure on the vector curves were shown by straight lines which passed through the origin except the case of the soil treated with quicklime of 4.0 and 6.0% mix ratio. The shear strength constants  $\phi$  obtained from these lines generally increased as the mix ratio of agent increased.

#### 緒 言

佐賀平野や白石平野のような超軟弱な有明粘土地帯において水路や道路、家屋等の構造物を築造する場合、石灰やセメント系安定剤を用いた安定処理工法により地盤を改良する工法がよく用いられる。軟弱な粘土に石灰やセメントを混入するとその強度が改良されることは既に知られている<sup>1, 2, 3)</sup>。また強度の内訳(粘着力成分と内部摩擦角成分)を明らかにするために処理

\* 干拓水工学教室 (Laboratory of Shore Reclamation and Hydraulic Engineering)

土の非圧密急速せん断試験も行われている<sup>4)</sup>。しかし改良された地盤が盛土や家屋等の上載荷重を受けた場合どのような挙動を示すか、又どのような強度特性を示すかといったことについてはまだ明らかにされていないようである。そこで本研究は各種安定剤を用いて処理した有明粘土について圧密定体積せん断試験を行いそのせん断強度が安定剤の種類や混合比によってどのように変化するかを実験的に明らかにしたものである。

## 実 験

実験に用いた試料は自然含水比状態 ( $w \approx 140\%$ ) の有明粘土 (生土) と、これに乾土換算重量で 1, 2, 4, 6% の普通ポルトランドセメント (以下単にセメントと呼ぶ)、生石灰及びセメント系安定剤であるソイルマスターを混合したものである。これらの試料をソイルミキサーで充分 (約15分間) 攪拌混合した後、直径10cm, 高さ20cmのモールドに空気が入らないように充てんし、23°Cの恒温下で28日間湿潤養生したものを処理土として実験に供した。これらの処理土について粒度・物理試験及び圧密定体積せん断試験を行った。せん断試験には改良型一面せん断試験機を用いた。圧密圧力 ( $\sigma_0$ ) は生土 (混合比0) 及び混合比1, 2%の処理土に対しては  $\sigma_0 = 0.2, 0.5, 0.7$  及び  $1.0 \text{ kgf/cm}^2$  とし、4及び6%の処理土に対しては  $\sigma_0 = 1, 2, 4$  及び  $6 \text{ kgf/cm}^2$  とした。圧密時間は1~2時間とした (この時間内でいずれの供試体の場合も圧密量は全圧密量の約90%に達した)。

## 実 験 結 果

Table 1 は各処理土について得られた物理試験 (比重試験, 液性・塑性限界測定試験) の結果を生土についてのデータとともに示したものである。また Fig. 1 (a), (b), (c) は各処理土につい

Table 1 Physical properties of Ariake clay and stabilized Ariake clays.

agent	mix ratio (%)	specific gravity $G_s$	liquid limit $W_L$ (%)	plastic limit $W_p$ (%)	plasticity index $I_p$ (%)
Ariake clay	0	2.662	136	55	81
Portland cement	1	2.658	135	51	84
	2	2.617	148	55	93
	4	2.617	148	54	94
	6	2.624	194	60	134
quicklime	1	2.660	126	22	104
	2	2.622	142	28	114
	4	2.617	182	77	105
	6	2.646	157	92	65
Soilmaster	1	2.669	164	44	120
	2	2.650	157	41	116
	4	2.679	142	62	80
	6	2.667	165	59	106

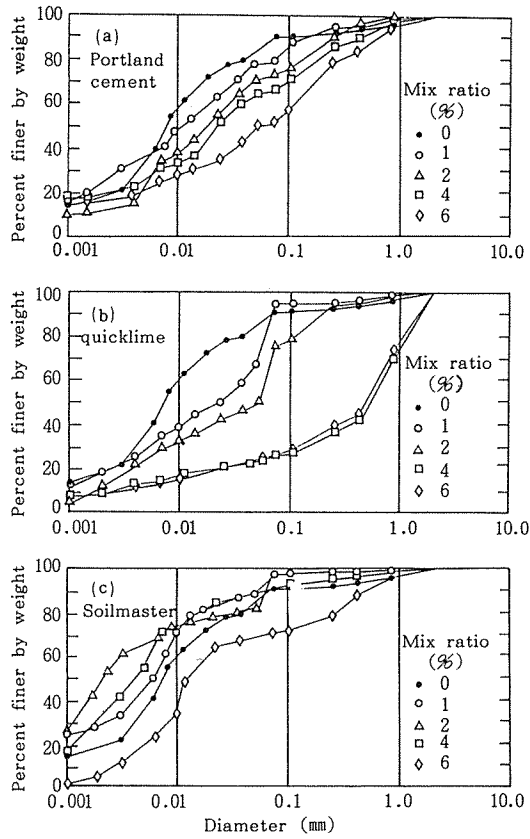


Fig. 1 Variation of particle size distribution curves for stabilized Ariake clay with mix ratio of agent.

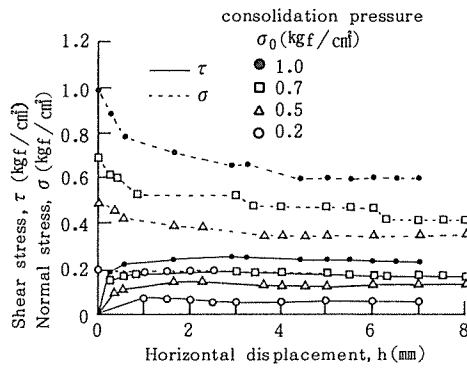


Fig. 2 Results of consolidated constant-volume shear test on Ariake clay. (initial water content,  $w_0=140\%$ )

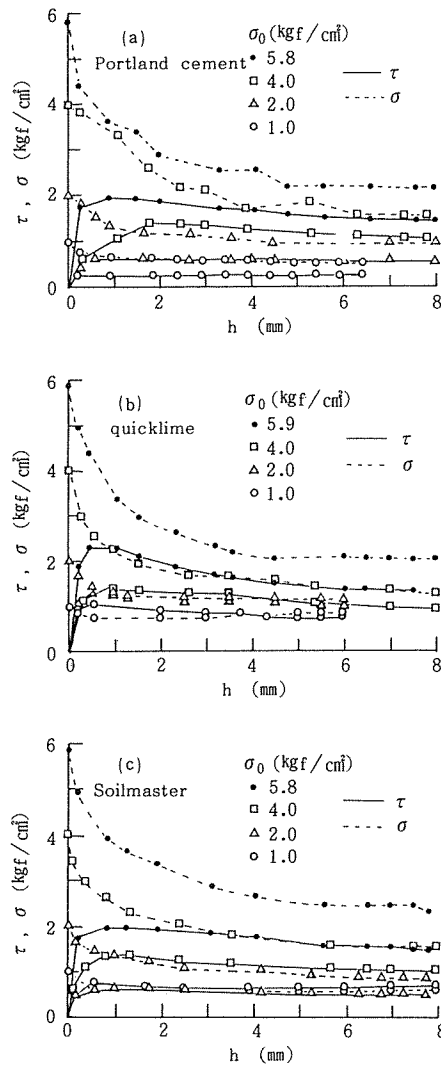


Fig. 3 Results of consolidated constant-volume shear test on stabilized Ariake clay (mix ratio of agent : 4%)

て粒度試験により得られた粒径加積曲線を安定剤の種類ごとに示したものである。

さらに生土及び各処理土のとくに混合比 4% のものについて得られた定体積せん断試験の結果を示したものが Fig. 2 及び Fig. 3 (a), (b), (c) である。

#### 実験結果の考察及び結論

1. 処理土の物理的特性: Table 1 によると安定剤の種類及び混合比の大小による処理土の物理的性質の変化は認められるが, 変化の一般的傾向は見い出せなかった。

2. 処理土の粒度特性: Fig. 1 によるとセメント (Fig. 1 (a)) と生石灰 (Fig. 1 (b)) を用いた

場合、混合比が増加するにつれて処理土の粒径加積曲線は砂質土のものに近づいて行くことがわかる。とくに生石灰を用いた場合、混合比が4%になると処理土は急激に砂質土の粒径加積曲線を示すようになる。これに対してソイルマスターを用いた場合、混合比が6%までの範囲では処理土の粒径加積曲線は依然生土のものと大差ないことがわかる。

3. 処理土の圧縮特性：Fig. 4は各処理土の圧密による圧縮ひずみ( $\epsilon$ )と混合比との関係を圧密圧力 $\sigma_0=1.0\text{kgf/cm}^2$ の場合について示したものである。図によれば一般に $\epsilon$ は混合比の増加とともに減少しており、中でも生石灰を4%混合した場合の $\epsilon$ の減少度合は非常に大きく又、セメント及びソイルマスターを同割合混合した場合に比べても非常に大きい。これは生石灰を4%混合したときの粒度分布が急激に砂質土的なものへと変わっている (Fig. 1 (b)) のとよく対応している。

4. 処理土のせん断強度特性：Fig. 5は処理土の圧密定体積せん断試験により得られたピーク強度 $\tau_f$ (せん断強度)と混合比との関係を圧密圧力 $\sigma_0=1.0\text{kgf/cm}^2$ の場合について示したものである。図によればセメント及びソイルマスターによる処理土は混合比6%以下では顕著な $\tau_f$ の増加は見られないのに対し、生石灰による処理土は混合比が4%以上になると $\tau_f$ は混合比とともに急激に増加している。生石灰を4%混合した場合は圧縮特性に対するのと同様せん断強度特性にも大きな効果を与えることがわかる。

5. せん断応力と垂直応力との関係：Fig. 6は生土の圧密定体積せん断試験結果 (Fig. 2) より得られたせん断応力 $\tau$ と垂直応力 $\sigma$ との関係 (ベクトルカーブ) を示したものである。一般にベクトルカーブの包絡線から得られる強度定数を $c_2'$ 、 $\phi_2'$ と称し、ピーク点を連ねた線から得られる強度定数を $c_1'$ 、 $\phi_1'$ と称している<sup>5)</sup>。普通の場合常に $\phi_2' > \phi_1'$ である。圧密非排水せん断試験結果を有効応力を用いて整理して得られる定数 $\phi'$ は圧密排水せん断試験により得られる定数 $\phi_d$ の代用になるといわれているが、粘土の場合 $\phi_1'$ が、砂の場合 $\phi_2'$ が $\phi_d$ に近くなる<sup>5)</sup>といわれている。さらにピーク点を圧密圧力上にプロットして連ねた線から得られる強度定数は $c_{cu}$ 、

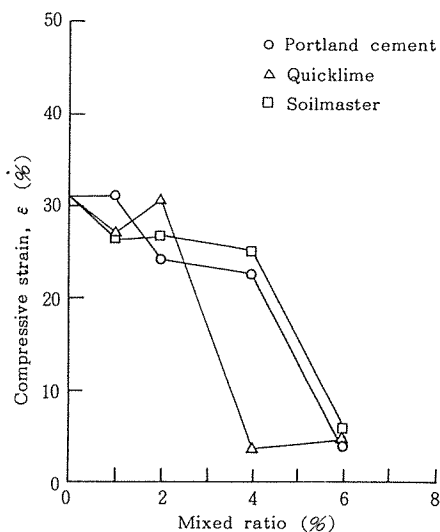


Fig. 4 Variation of Compressive strain under  $\sigma_0=1.0\text{kgf/cm}^2$  of consolidation pressure with mix ratio of agent.

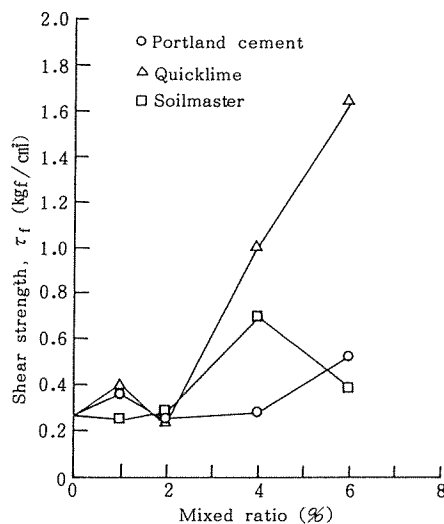


Fig. 5 Variation of shear strength under  $\sigma_0=1.0\text{kgf/cm}^2$  with mix ratio of agent.

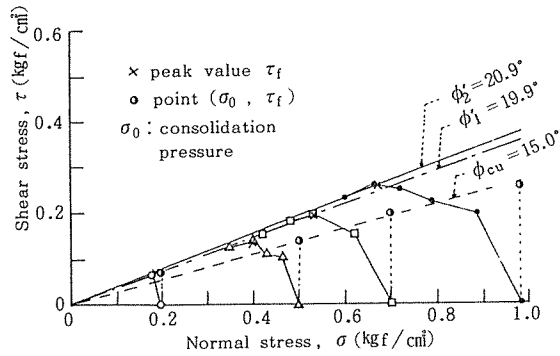


Fig. 6 Relationship between  $\tau$  and  $\sigma$  of Ariake clay.

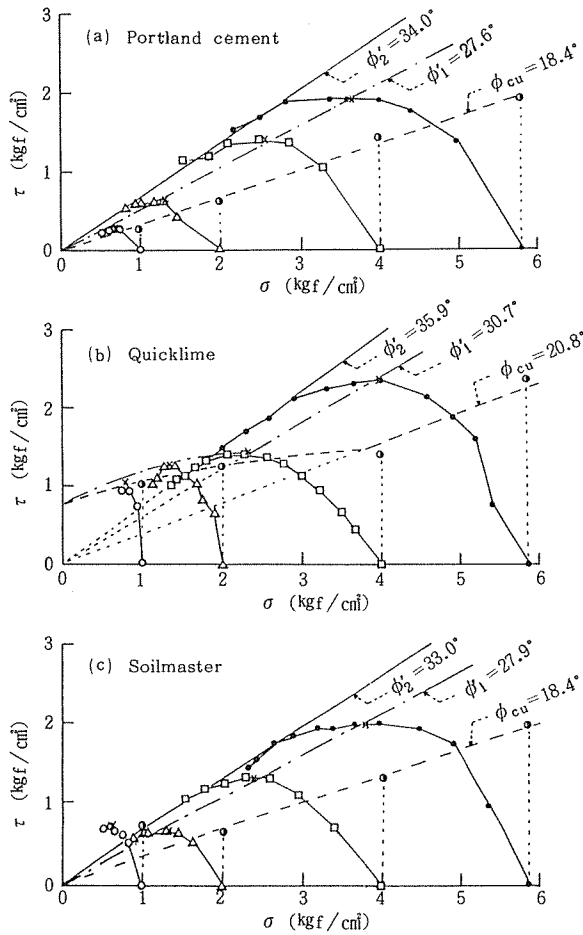


Fig. 7 Relationship between  $\tau$  and  $\sigma$  of stabilized Ariake clay for 4 % mix ratio of agent.  
(symbols as before in Fig. 6)

$\phi_{cu}$ と称され、 $\tan\phi_{cu}$ は圧密による強度の増加の割合を表わす指標として用いられる。いま Fig. 6において各定数を求めてみると、一般に $c = 0$ であり、ベクトルカーブの包絡線(実線)から $\phi_2' = 20.9^\circ$ 、ピーク点( $\times$ 印)を連ねた線(一点鎖線)から $\phi_1' = 19.9^\circ$ ( $\approx \phi_2'$ )、ピーク点を圧密圧力上にプロット( $\bullet$ 印)して連ねた線(破線)から $\phi_{cu} = 15.0^\circ$ が夫々得られた。

Fig. 7は Fig. 3に示した各安定剤の混合比4%のときの処理土の圧密定体積せん断試験結果より得られたベクトルカーブを示したものである。一般にセメント及びソイルマスターを用いた場合、混合比6%以下ではベクトルカーブの包絡線、ピーク点を連ねた線、ピーク点を圧密圧力上にプロットして連ねた線はいずれも原点を通る直線( $c = 0$ )で表わされた。これに対して生石灰を用いた場合、混合比2%以下では他の安定剤による処理土の場合と同様のベクトルカーブが得られたが、混合比が4%以上になると Fig. 7(b)に示すようにベクトルカーブに過圧密領域が現われ、擬似先行荷重の影響がでてくる。ここではいずれの場合も正規圧密領域のみを考慮して定数 $\phi$ を求めた。このようにして各処理土のベクトルカーブより得られた $\phi_2'$ 、 $\phi_1'$ 及び $\phi_{cu}$ の値を生土についてのデータと共に示したものが Table 2である。

Table 2 Experimental values of  $\phi_2'$ ,  $\phi_1'$  and  $\phi_{cu}$  for Ariake clay and stabilized Ariake clays.

agent	mix ratio (%)	$\phi_2'$ (°)	$\phi_1'$ (°)	$\phi_{cu}$ (°)
Ariake clay	0	20.9	19.9	15.0
Portland cement	1	25.9	25.9	21.1
	2	33.0	30.1	21.9
	4	34.0	27.6	18.4
	6	33.2	27.2	18.8
quicklime	1	—	—	—
	2	22.3	22.3	14.6
	4	35.9	30.7	20.8
	6	42.0	38.7	27.0
Soilmaster	1	19.9	19.9	14.0
	2	23.1	23.1	15.1
	4	33.0	27.9	18.4
	6	33.0	28.2	19.9

6. 強度定数 $\phi_1'$ と安定剤の混合比との関係: Fig. 8は各処理土の $\phi_1'$ の値と安定剤の混合比との関係を示したものである。図によれば一般に処理土の混合比が増すと $\phi_1'$ も大きくなるがその傾向は安定剤の種類によって異なっている。すなわち $\phi_1'$ はセメントを用いた場合混合比が2%まで急激に上昇し、以後ほぼ一定となるのに対し、生石灰を用いた場合は混合比の増加とともに比例的に上昇して行く傾向にある。ソイルマスターを用いた場合はセメント及び生石灰を用いた場合の中間的な傾向を示している。

7. 強度定数 $\phi_{cu}$ と安定剤の混合比との関係: Fig. 9は各処理土の $\phi_{cu}$ の値と安定剤の混合比との関係を示したものである。図によれば $\phi_{cu}$ の混合比に対する変化は $\phi_1'$ の場合とほぼ同じ傾向を示すが、 $\phi_{cu}$ の変化の度合は $\phi_1'$ に比べて小さく、生石灰の混合比6%の場合を除くと $\phi_{cu} \leq 20^\circ$ と生土の $\phi_{cu} = 15^\circ$ に対し、せいぜい5°以内の変化である。また $\phi_{cu}$ の全処理土における平均値は $\phi_{cu} = 19.1^\circ$ である。

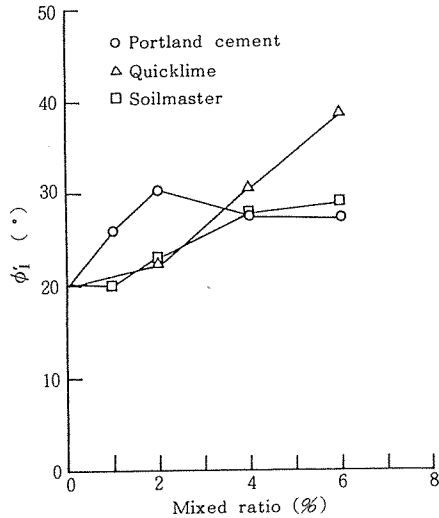


Fig. 8 Variation of values of  $\phi_1'$  with mix ratio of agent.

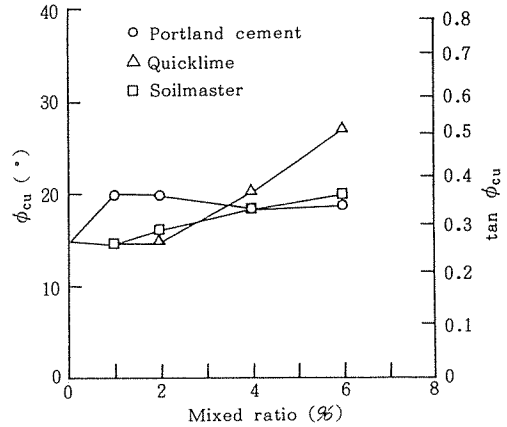


Fig. 9 Variation of values of  $\phi_{cu}$  and  $\tan \phi_{cu}$  with mix ratio of agent.

又 Fig. 9 には  $\phi_{cu}$  軸の他に  $\tan \phi_{cu}$  軸をも示している。これによると安定処理土の圧密による平均強度増加率は混合比が 6% 以内では生土の 0.268 から 0.346 へと約 30% 増加することがわかる。

### 摘 要

本論文は超軟弱な海成粘土である有明粘土を重量比で 1.0~6.0% の混合比のセメント (ポルトランドセメント), 生石灰及びセメント系安定剤であるソイルマスターで処理し, 28 日間恒温 (23°C), 恒湿 (湿度 100%) で養生した試料について実施した圧密定体積せん断試験の結果を述べたものである。

処理土の粒度分析結果によればセメント及び生石灰による処理土は混合比が増すにつれて粘土から砂質土へ変わってゆくのに対し, ソイルマスターによる処理土は依然粘土のままであった。また生石灰はこれらの安定剤の中では最も粒度特性の改善に効果があった。

圧密定体積せん断試験結果によれば一般に混合比が増すにつれて圧密による圧縮ひずみは減少し, せん断強度は増加した。ベクトルカーブ上の包絡線, ピーク点を連ねた線及びピーク点を圧密圧力上に連ねた線は生石灰を 4% 及び 6% 混合した場合を除いて全て原点を通る直線で表わされた。これらの直線から得られたせん断強度定数  $\phi$  は一般に安定剤の混合比が増すにつれて増加した。

### 謝 辞

本研究の一部は科学研究費総合 A 「九州・沖縄のローカルソイルの特性と土質改良」 (代表者九州大学教授高山昌照) を受けて行われたこと及び本実験は本学専攻生 (現農林水産省九州農政局) の田中善行君の手伝いを受けたことを付記して謝意を表します。



## 参 考 文 献

- 1) 細谷芳巳・西林清茂 (1978). 有機質土のセメント系安定処理による強度特性 (第2報). 第33回土木学会講演要集(3), 282—283.
- 2) 広末幸弘・諸戸靖史・中村俊夫 (1978). 鷹架沼 (青森県) 粘土の石灰安定処理効果について. 第33回土木学会講演要集(3), 270—271.
- 3) 加来研 (1979). 安定処理土の物理的・力学的性質. 農業土木学会材料施工研究部会報, No.17, 1—9.
- 4) 藤本昌宣・加来研・甲本達也 (1986). 安定処理した有明粘土の急速せん断特性. 佐賀大学農学部彙報, 第61号.
- 5) 土質工学会 (1979). 土質試験法 (第2回改訂版). 土質工学会, pp. 452—453.