

# 加圧養生した安定処理土の繰返しせん断強度

川島洋史 (社会建設工学専攻)

鈴木素之 (社会建設工学科)

山本哲朗 (社会建設工学科)

岡林茂生 (㈱宇部三菱セメント研究所)

藤野秀利 (㈱宇部三菱セメント研究所)

## Cyclic shear strength of treated soils cured under a loading

Hiroshi KAWASHIMA ( Department of civil engineering )

Motoyuki SUZUKI ( Department of civil engineering )

Tetsuro YAMAMOTO ( Department of civil engineering )

Shigeo OKABAYASHI ( Ube-Mitsubishi cement research institute corporation )

Hidetoshi FUJINO ( Ube-Mitsubishi cement research institute corporation )

Unconfined compression and cyclic triaxial tests were performed on cement or lime treated soils which were consolidated and cured simultaneously. It was found from the tests that the unconfined compressive strength,  $q_u$ , and the modulus of deformation of these soils increased a linearly with increasing the consolidation stress in the curing process,  $\sigma'_v$ . The cyclic shear strength,  $R_{20}$ , of these soils were significantly affected by the value of  $\sigma'_v$ . There exists a unique correlation between  $q_u$  and  $R_{20}$  of various treated soils.

**Key Words:** Treated soil, Cyclic shear strength, Quick lime, Cement, Soil improvement, Consolidation, Curing

### 1. はじめに

安定処理土の強度に及ぼす影響因子には、安定材の性質（安定材の種類、安定材の品質、練り混ぜ水や添加剤）、対象土の性質と状態（土固有の性質、有機物含有量、土中水の pH、含水比）、混合処理条件（混合度、混合・再混合の時期、オーバーラップ施工）、養生条件（温度、材令、湿度、乾湿繰返し、凍結融解、その他）などがある<sup>1)</sup>。上記に関する影響因子として、加圧条件下での安定処理土の養生効果（いわゆる加圧養生）に着目した研究が行われている<sup>2~4)</sup>。Fig.1 に液状化対策工法として施工された安定処理地盤中の土要素の有効応力状態を示す。土要素は鉛直有効応力  $\sigma'_v$  と水平有効応力  $\sigma'_h$  による異方圧密状態にあり、上載荷重による圧密に伴う密度増加と安定材の水和物生成に伴う固化（セメンテーション）が同時に進行するものと考えられる。Fig.2 に原位置での鉛直有効応力  $\sigma'_v$  の施工に伴う経時変化を模式的に示す。予想される原位置での経路は点 O 点 A 点 B のよう

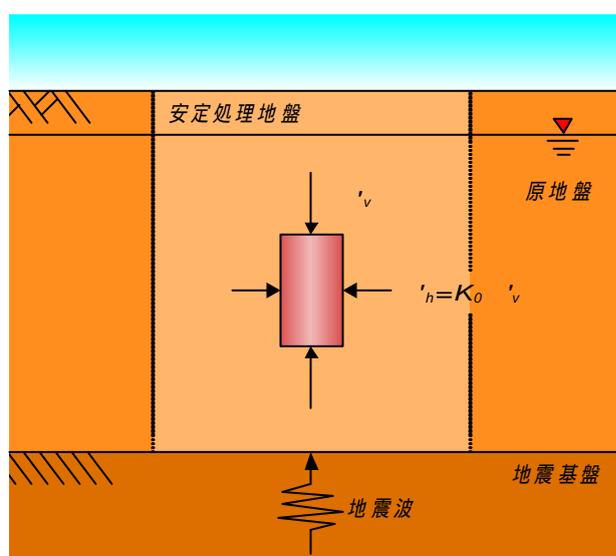


Fig.1 安定処理地盤中の土要素の有効応力状態 (模式図)

になり、鉛直応力を受けた状態で安定処理土は養生される。そのため、圧密による密度増加とそれに伴う含水比低下による水セメント比の減少が相乗効果となって相当な強度増加が期待される。しかし、固化が発達した段階での荷重増分は、逆にこれまで形成されたセメンテーションの破壊を生じ、強度増加は予想よりも小さくなる。また、セメンテーションが破壊されても、その後再形成される可能性もあり、加圧条件下での安定処理土の強度発現機構は非常に複雑なものとなる。一般に、安定処理土の改良効果は大気圧下で養生した供試体の一軸圧縮強度で評価されており、原位置での応力状態を再現したものではない ( Fig.2 の点 O 点 C) . これより、上述のような事象を再現するような形で、改良土の強度評価をすることは非常に意義のあることと考える。これまでの研究成果は主に加圧養生した供試体の一軸圧縮強度特性を中心に報告されており、繰返しせん断強度特性についてはまったく明らかにされていない。

本研究では、まずセメント系および石灰系の 2 種類の固化材で処理した粘性土に対して、加圧条件下で養生させる実験を行い、そのときの沈下量、養生時間および鉛直応力の三者の関係について調べた。ついで、異なる鉛直応力の下で一次的に圧密した安定処理土供試体に対して一軸圧縮試験および繰返し三軸試験を行い、両試験より得られた強度変形パラメータに及ぼす加圧養生の影響について考察するとともに、既往の研究成果も含めて加圧・非加圧養生供試体の繰返しせん断強度と一軸圧縮強度の相関性について検討した。なお、これに関する研究では、現在、加圧養生ならびに圧密養生という用語が混用されているが、本研究では排水条件下での加圧養生が圧密養生に相当すると考え、明確な物理的意味・条件を表す用語として加圧養生を用いることにした。

## 2. 実験概要

### (1) 土試料および安定材

土試料には山口県防府市大道で採取した粘土 (以下、大道粘土という) を用いた。Table 1 にその物理的性質を示す。大道粘土の含有粘土鉱物は主にカオリナイトである。安定材には石灰系安定材として生石灰 (Quick Lime : QL と略称)、セメント系安定材として高炉セメント B 種 (Blast Furnace Slag Cement Type B : BC と略称) を用いた。

### (2) 加圧養生供試体の作製方法

加圧養生供試体の作製手順は以下のとおりである。液性限界の約 2.4 倍の含水比 (初期含水比  $w_0$

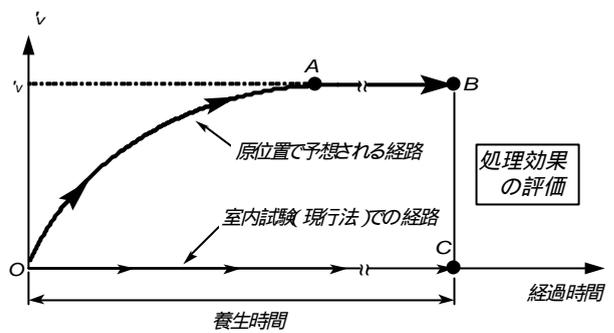


Fig.2 施工に伴う鉛直有効応力の経時変化 (模式図)

Table 1 大道粘土の物理的性質

$s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.588
$D_{max}$ (mm)	0.250
$D_{50}$ (mm)	0.005
$w_L$ (%)	60.1
$w_p$ (%)	25.2
$I_p$	34.9
$F_{clay}$ (%)	50.9
FC (%)	89.3

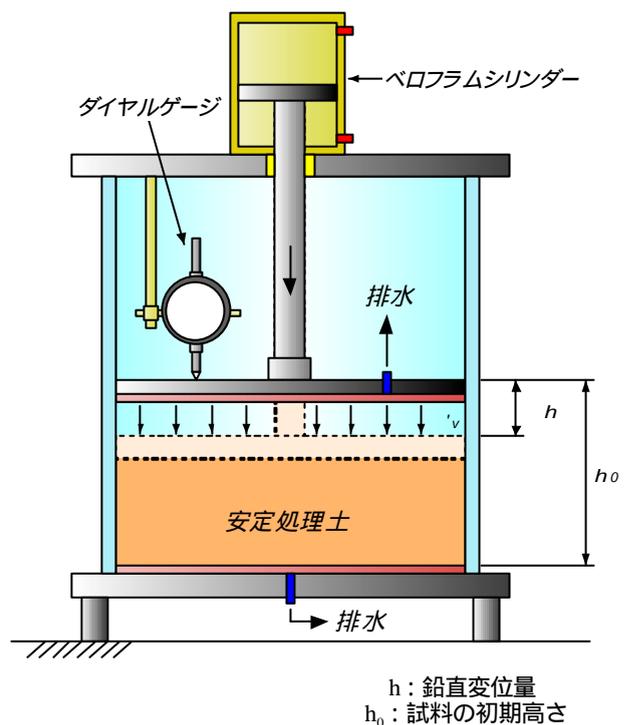


Fig.3 大型圧密試験装置による安定処理土の加圧養生実験 (模式図)

143 %) になるように大道粘土に脱気水を加えスラリー状にし、ミキサーで十分に攪拌する。スラリー試料中に添加率  $C = 5\%$  の安定材を少しずつ投入し

Table 2 加圧養生供試体の作製ケース

安定材の種類	C (%)	w <sub>0</sub> (%)	h <sub>0</sub> (cm)	$\sigma'_v$ (kPa)	t <sub>cc</sub> (day)	v (%)	w <sub>cc</sub> (%)																	
なし	0	143.5	27.2	0 19.6	1 28	0.0 41.9	60.5																	
								140.3	24.6	0 19.6 49	1 1 28	0.0 24.0 46.2	47.3											
														141.3	25.7	0 19.6 49 98	1 1 1 28	0.0 20.9 38.2 50.6	41.7					
		QL	5	-	0	28	-													125.6				
								141.9	19.6	0 19.6	1 28	0.0 15.8	114.5											
														143.5	15.1	0 19.6 49	1 1 28	0.0 17.9 20.0	96.2					
																					143.3	23.0	0 19.6 49 98	1 1 1 28
		BC	5	-	0	28	-	129.9																
									140.5	16.9	0 19.6	1 28	0.0 3.0	116.9										
142.6	22.9														0 19.6 49	1 1 28	0.0 2.6 9.3	107.2						
																			143.1	17.2	0 19.6 49 98	1 1 1 28	0.0 3.5 10.3 17.3	96.5

- : 測定せず

ながら両者を 10 分間混合する。なお、添加率は土試料の乾燥質量に対する安定材の質量の百分率である。

Fig. 3 に示す大型圧密試験装置にスラリー試料を入れ、所定の鉛直応力  $\sigma'_v$  の下で一次的に圧密する。

所定の期間に達した時点で大型圧密試験装置から試料を取り出し、一辺が約 6cm の直方体に切り出す。含水比が変化しないように高分子フィルムで密封し湿潤箱に保存する。なお、鉛直応力の載荷方法は段階載荷として、圧密時間は所定の鉛直応力に達してから 28 日間とした。Table 2 には安定処理土の加圧養生方法の詳細を示している。表中の t<sub>cc</sub> は養生日数、w<sub>cc</sub> は加圧養生終了時の試料含水比である。沈下ひずみ v は Fig. 3 に示すように圧密量 h の初期高さ h<sub>0</sub> に対する割合を百分率で表したものである。

(3) 一軸圧縮試験および繰返し三軸試験

一軸圧縮試験および繰返し三軸試験に用いた供試

Table 3 一軸圧縮試験結果の一覧

Test No.	安定材の種類	$\sigma'_v$ (kPa)	w <sub>i</sub> (%)	q <sub>u</sub> (kPa)	E <sub>30</sub> (MPa)	f (%)	
1	なし	49	47.1	23.2	2.8	1.13	
2			46.0	17.2	1.9	1.89	
3		98	40.0	45.6	3.4	2.28	
4			41.6	37.9	3.2	1.70	
5	QL	0	128.0	55.8	4.9	1.41	
6			126.5	60.1	4.7	2.42	
7		19.6	114.5	121.3	15.4	0.71	
8			113.1	125.3	43.3	0.38	
9			49	96.9	272.4	54.3	1.26
10		98	72.8	407.6	89.3	0.82	
11		BC	0	129.9	12.4	1.6	2.28
12				19.6	119.2	18.5	3.0
13			117.1	31.7	5.4	0.86	
14			49	107.3	46.5	5.9	0.95
15	106.7			40.5	5.4	0.91	
16	98			95.4	100.0	16.0	0.82
17	96.3		101.2	15.8	0.82		

Table 4 繰返し三軸試験結果の一覧

Test No.	安定材の種類	$\sigma'_v$ (kPa)	w <sub>i</sub> (%)	$\sigma'_{30}$ (kPa)	$\sigma'_d / 2 \sigma'_{30}$ (kPa)	N <sub>f</sub> (回)	R <sub>20</sub>		
1	QL	0	124.9	98	0.279	459	0.369		
2			127.3	98	0.378	16			
3			124.1	98	0.401	14			
4			124.7	98	0.335	22			
5			127.1	98	0.310	132			
6			125.0	98	0.432	3			
7			122.5	98	0.420	8			
8			98	74.6	98	1.330		5	1.242
9				74.5	98	1.227		26	
10				73.8	98	1.119		340	
11	BC	0	132.3	98	0.214	62	0.287		
12			130.7	98	0.237	168			
13			130.5	98	0.251	164			
14			130.7	98	0.294	20			
15			127.7	98	0.292	46			
16			127.6	98	0.345	4			
17			98	96.1	98	0.439		1	0.327
18				95.2	98	0.270		137	
19				96.7	98	0.302		27	
20				97.2	98	0.335		53	
21				98.9	98	0.417		2	

体の寸法はいずれも直径約 5 cm、高さ約 10 cm である。一軸圧縮試験では特にキャッピングは行っていないが、端面が平坦であることを確認している。軸ひずみ速度は 1.0 %/min とした。試験終了時の供試体の破壊状況を観察した。繰返し三軸試験では初期有効拘束圧  $\sigma'_{30} = 98$  kPa (背圧  $\sigma_b = 49$  kPa) で供試体を圧密した後、非排水条件下で周期 10 秒、振幅一定の繰返しせん断応力比  $\sigma'_d / 2 \sigma'_{30}$  ( $\sigma'_d$ : 繰返し軸差応力) を作用させた。圧密の打ち切りは 3t 法で決定した。供試体の破壊は両振幅軸ひずみ DA が 5 % に達した時

点と定義した。Table 3 および Table 4 にそれぞれ一軸圧縮試験および繰返し三軸試験結果の一覧を示す。なお、表中の記号のうち  $w_i$  は試験前の供試体の含水比、 $N_f$  は破壊までの繰返し回数および  $R_{20}$  は繰返しせん断強度曲線で  $N_f = 20$  回の際の繰返しせん断応力比の値である。

### 3. 加圧養生した安定処理土の沈下特性

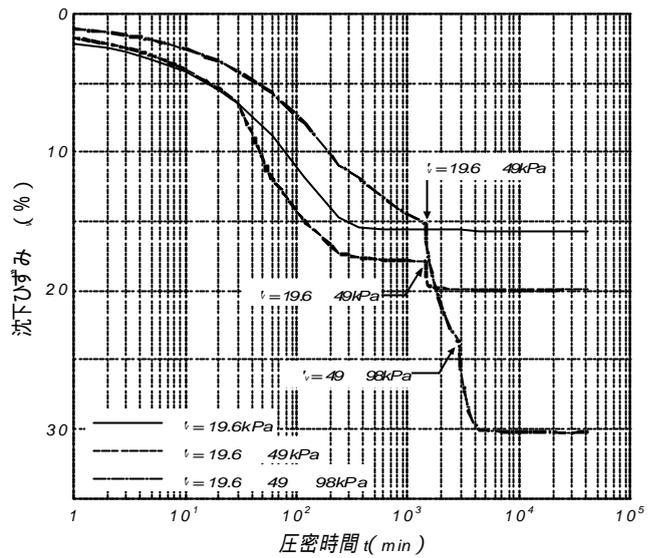
Figs.4(a) および(b) にそれぞれ QL 処理土および BC 処理土の沈下ひずみ  $\epsilon_v$  と圧密時間  $t$  の関係を示す。図には  $\sigma'_v = 19.6 \text{ kPa}$ 、 $\sigma'_v = 19.6 \sim 49 \text{ kPa}$ 、 $\sigma'_v = 19.6 \sim 49 \sim 98 \text{ kPa}$  の 3 通りのケースを示している。Fig.4(a) の QL 処理土において  $\sigma'_v = 19.6 \text{ kPa}$  の場合に注目すると、沈下ひずみは圧密時間とともに増加しているが、 $t = 1000$  分以降においてほぼ一定になっている。このことは、1. で述べたように圧密による密度増加に対して水和物による固化の発達に優勢になったものと考えられ、これにより二次圧密的な沈下挙動が抑制されたものと推測される。一方、 $\sigma'_v = 19.6 \sim 49 \text{ kPa}$  の場合も第 1 段階の載荷 ( $\sigma'_v = 19.6 \text{ kPa}$ ) でほぼ同様な挙動を示し、その鉛直応力の下で土粒子間にセメンテーションが生じたものと考えられる。第 2 段階でも、はじめの内は沈下ひずみは増加するものの、載荷開始から 1000 分以降でほぼ一定となっている。このときの沈下には第 1 段階で生じたセメンテーションの一部破壊によるものも含まれる。 $\sigma'_v = 19.6 \sim 49 \sim 98 \text{ kPa}$  の場合も同様な挙動を示している。Fig.4(b) の BC 処理土の場合も QL 処理土の挙動と概ね一致しているが、沈下ひずみの総量は QL 処理土よりも小さい。以上の考察より、安定処理土は荷重増分に対して沈下低減効果を有するが、このとき一部セメンテーションの破壊も生じるので、強度増加を見込む際にはこのことを十分に考慮すべきである。

### 4. 加圧養生した安定処理土の強度・変形特性

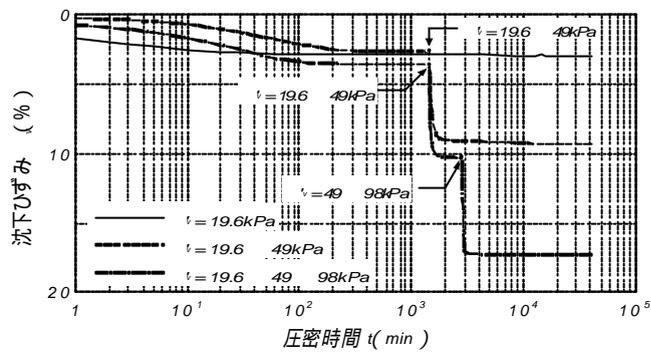
#### (1) 一軸圧縮強度、破壊ひずみおよび変形係数

Figs.5 ~8 に加圧養生した安定処理土の一軸圧縮試験結果 (Table 3 の Test No.5 ~ 17) を、また比較のために未処理土の結果 (Table 3 の Test No.1 ~ 4) をあわせて示す。

Figs.5(a) および(b) はそれぞれ QL 処理土および BC 処理土の圧縮応力  $\sigma'_v$  と圧縮ひずみ  $\epsilon_v$  の関係を示している。Fig.5(a) で養生時の鉛直応力  $\sigma'_v$  がゼロすなわち非加圧養生の場合、圧縮応力は圧縮ひずみの増



(a) QL 処理土

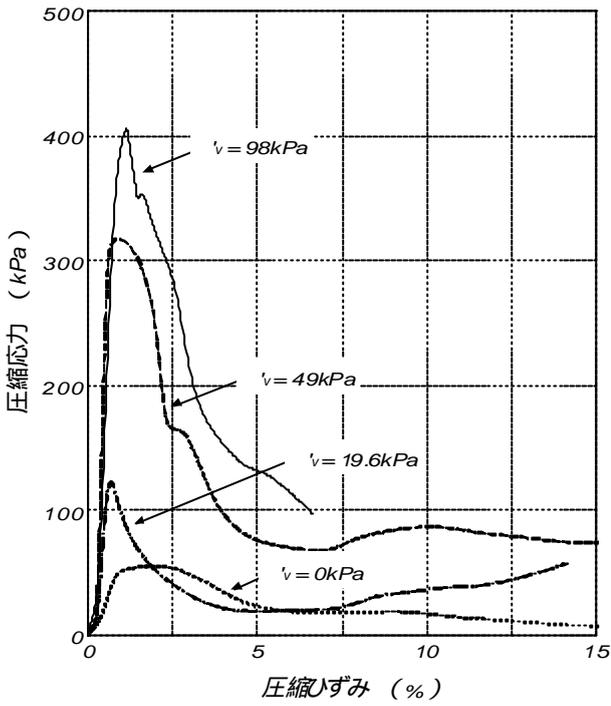


(b) BC 処理土

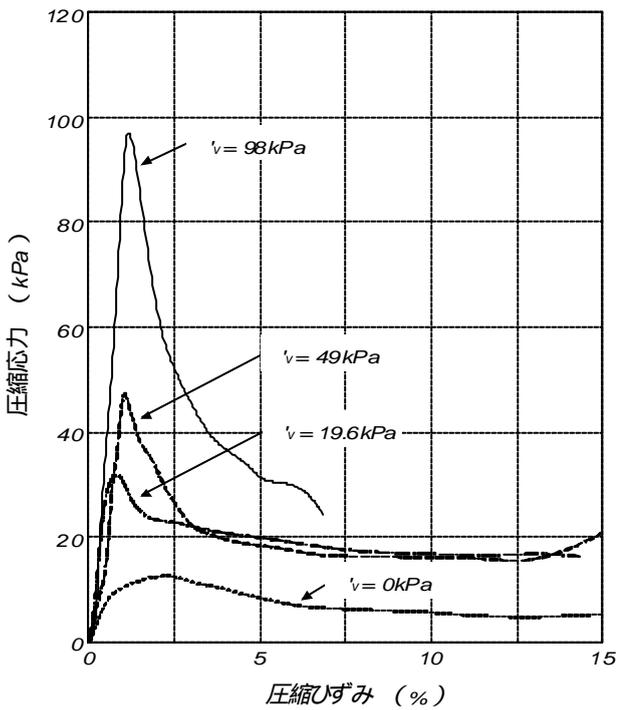
Fig.4 養生時の圧密の沈下ひずみ  $\epsilon_v$  と圧密時間  $t$  の関係

加とともに大きくなり、 $\epsilon_v = 2.42\%$  で最大値 (一軸圧縮強度として  $q_u = 60.1 \text{ kPa}$ ) を示した後、漸減している。これに対して、 $\sigma'_v = 19.6 \text{ kPa}$  で加圧養生した場合、圧縮応力は  $\sigma'_v = 0 \text{ kPa}$  の場合に比して小さい圧縮ひずみで高い最大値を示した後、急激に減少しており、脆性的な挙動が顕著になる。 $\sigma'_v = 49 \text{ kPa}$  および  $98 \text{ kPa}$  の場合、応力・ひずみ曲線は鉛直応力の大きさとともに上方に位置し、一軸圧縮強度は加圧養生効果により著しく増加することが良くわかる。一方、Fig.5(b) の BC 処理土の場合もほぼ同様な傾向を示し、加圧養生による改良効果が十分に認められるが、全体的には QL 処理土よりも一軸圧縮強度の値は小さい。

Fig.6 に未処理土、QL 処理土および BC 処理土の一軸圧縮強度  $q_u$  と養生時の鉛直応力  $\sigma'_v$  の関係を示している。QL 処理土の場合、一軸圧縮強度は鉛直応力の増加に伴い直線的に増加する。BC 処理土の場合も



(a) QL 処理土



(b) BC 処理土

Fig.5 一軸圧縮試験における応力・ひずみ曲線

強度増加の度合いは小さいものの、QL 処理土と同様な傾向がみられる。ここで、一軸圧縮強度と鉛直応力の間に直線関係があるものとして、以下の式で

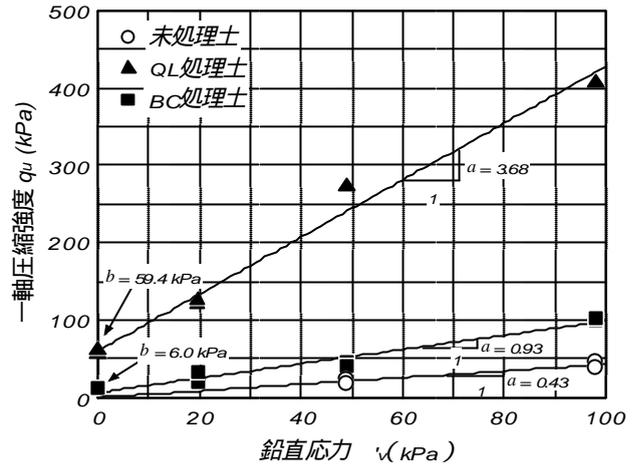


Fig.6 一軸圧縮強度と鉛直応力の関係

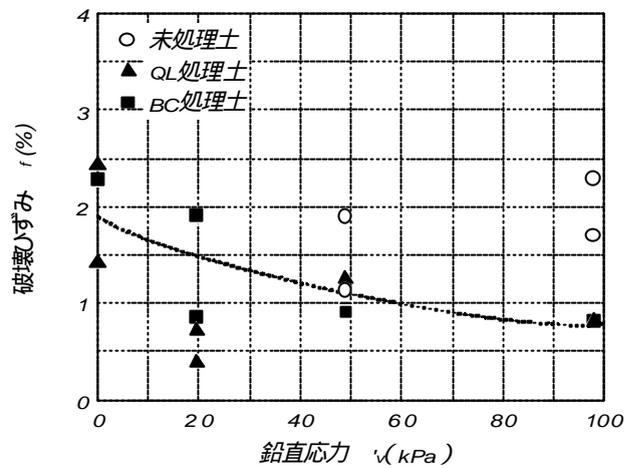


Fig.7 破壊ひずみと鉛直応力の関係

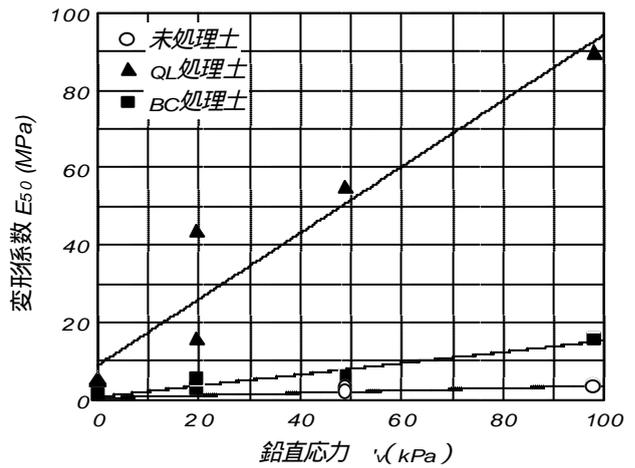


Fig.8 変形係数と鉛直応力の関係

近似する。

$$q_u = a \cdot \sigma_v + b \quad (1)$$

ここに、一軸圧縮強度および鉛直応力の単位は kPa である。QL 処理土の場合には  $a = 3.68$ ,  $b = 59.4$  kPa, BC 処理土の場合には  $a = 0.93$ ,  $b = 6.0$  kPa となる。図には比較のために未処理土のデータも示しているが、この場合も、 $a = 0.43$ ,  $b = 0$  kPa が得られている。未処理土の  $a$  値は圧密による強度増加率  $c_u/p$  ( $c_u$ : 非排水強度,  $p$ : 圧密応力) の 2 倍に相当するものである。加圧養生した両処理土の  $a$  値および  $b$  値は、ともに未処理土のものより大きくなるので、このことは単に圧密による密度増加だけでなく、それに伴って含水比が低くなった状態で土粒子間にセメンテーションが良好に発達したものと考えられる。

Fig. 7 は各安定処理土の破壊ひずみ  $\epsilon_r$  と養生時の鉛直応力  $\sigma'_v$  の関係を示している。QL 処理土および BC 処理土の場合、鉛直応力が 20 kPa 以下の領域で破壊ひずみにばらつきがみられるものの、鉛直応力の増加に伴い破壊ひずみが小さくなる傾向がみられる。図中のフィッティングカーブはこの関係を概略表したものである。なお、未処理土の場合このような傾向はみられなかった。

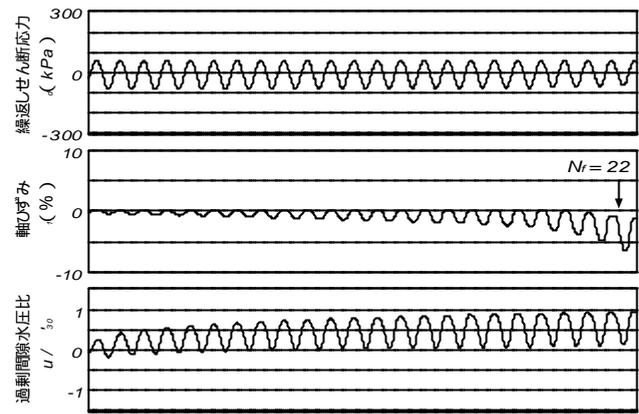
Fig. 8 に各安定処理土の変形係数  $E_{50}$  と養生時の鉛直応力  $\sigma'_v$  の関係を示している。QL 処理土の場合、変形係数は鉛直応力の増加に伴い直線的に増加する傾向にある。BC 処理土の場合も同様な傾向がみられるが、変形係数の増加の割合は QL 処理土よりも小さい。

以上の考察より、養生時の鉛直応力は安定処理土の強度のみならず変形に対しても改良効果を上げるようである。

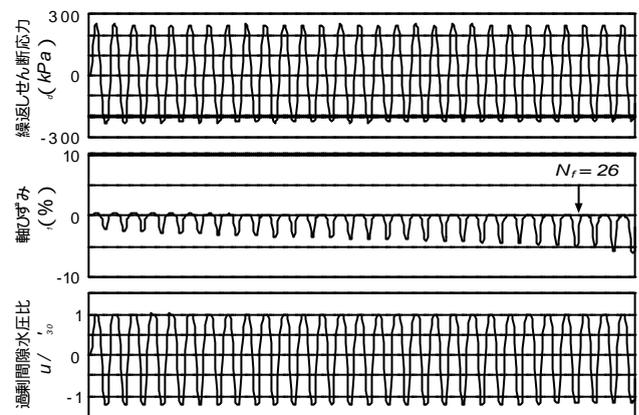
(2) 繰返しせん断応力比, 軸ひずみおよび過剰間隙水圧比

Figs. 9 ~ 11 に加圧養生した安定処理土の繰返し三軸試験結果 (Table 4 の Test No.1 ~ 21) を示す。

Figs. 9(a) および(b) はそれぞれ  $\sigma'_v = 0$  kPa および 98 kPa の QL 処理土の繰返しせん断応力  $\tau_d$ , 軸ひずみ  $\epsilon_1$  および過剰間隙水圧比  $u'/\sigma'_{30}$  と繰返し回数の関係を示している。Fig. 9(a) の  $\sigma'_v = 0$  kPa すなわち非加圧養生の場合、軸ひずみは繰返し回数の増加に伴い徐々に伸張側に増加して破壊に至っている。繰返し回数が 22 回で  $DA = 5\%$  に達している。また、過剰間隙水圧比は繰返し回数の増加に伴い徐々に増加し、破壊時に 1.0 程度まで達している。このことは粘性土の典型的な繰返しせん断挙動に近い挙動である。Fig. 9(b) の  $\sigma'_v = 98$  kPa で加圧養生した場合も、軸ひずみは  $\sigma'_v = 0$  kPa の場合とほぼ同様な傾向を示しているが、過剰間隙水圧比は繰返し荷重初期からほぼ一定の振幅で発生し、正圧、負圧ともに 1.0 程度まで達している。この



(a)  $\sigma'_v = 0$  kPa (非加圧養生)

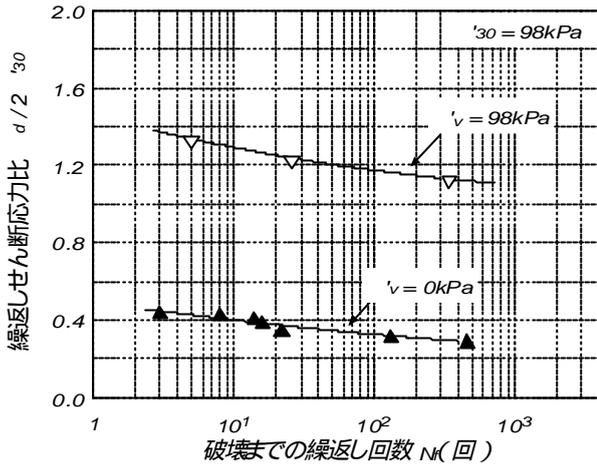


(b)  $\sigma'_v = 98$  kPa (加圧養生)

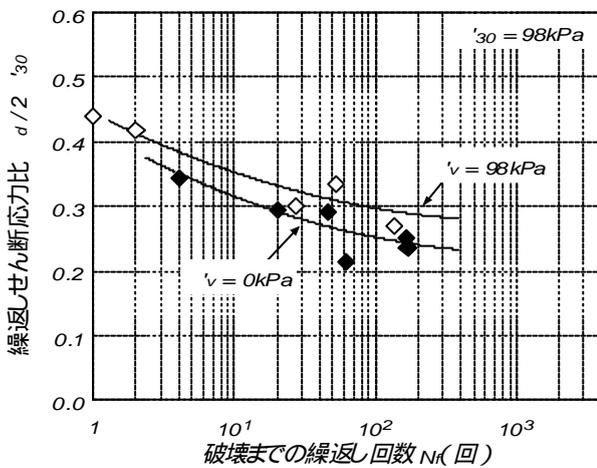
Fig. 9 生石灰処理土の繰返し三軸試験の記録波形の一例

場合には、繰返し回数が 26 回で  $DA = 5\%$  に達している。

Figs. 10(a) および(b) はそれぞれ QL 処理土および BC 処理土の繰返しせん断応力比  $\tau_d/2\sigma'_{30}$  と破壊までの繰返し回数  $N_f$  の関係を示している。これらの図には  $\sigma'_v = 0$  kPa および 98 kPa の場合の 2 つの繰返しせん断強度曲線を示している。ここで注意すべき点は、安定処理土の繰返し三軸試験時の  $\tau_d/2\sigma'_{30} \sim N_f$  関係は有効拘束圧  $\sigma'_{30}$  の影響を受けるので、養生時の鉛直応力の影響を調べるために  $\sigma'_{30} = 98$  kPa に統一している点である。Fig. 10(a) の QL 処理土の場合、 $\sigma'_v = 98$  kPa の繰返し強度曲線の方が  $\sigma'_v = 0$  kPa の場合よりも上方にあり、加圧養生することで繰返しせん断強度が増加することが明らかである。一方、Fig. 10(b) の BC 処理土の場合も、上述した QL 処理土の傾向とほぼ同じであるが、 $\sigma'_v = 0$  kPa と  $\sigma'_v = 98$  kPa の繰返しせん断強度曲線の差は小さい。この点を詳しく検討するために、Fig. 11 に示す BC 処理土の繰返し三軸試験の等



(a) QL 処理土



(b) BC 処理土

Fig.10 繰返しせん断強度曲線

方圧密過程における排水量  $V$  と経過時間  $t$  の関係を見ると、 $\sigma'_v = 98 \text{ kPa}$   $\sigma'_{30} = 98 \text{ kPa}$  の場合より  $\sigma'_v = 0 \text{ kPa}$   $\sigma'_{30} = 98 \text{ kPa}$  の場合の方が等方圧密による排水量が多いことから、非加圧養生供試体の間隙比は大幅に減少し、その結果として繰返しせん断直前における加圧・非加圧養生供試体の間隙比の差は、小さくなって強度差が小さくなったものと考えられる。

(3) 繰返しせん断強度と一軸圧縮強度の関係

Fig.12 に各安定処理土の繰返しせん断強度  $R_{20}$  と一軸圧縮強度  $q_u$  の関係を示す。土粒子間に固結力を付加すると、粘着力のために繰返しせん断強度曲線は有効拘束圧の影響を受ける。この影響を除去するために、ここでは  $\sigma'_{30} = 98 \text{ kPa}$  の下でのデータだけを用いた。図中の繰返しせん断強度および一軸圧縮強度の実測値

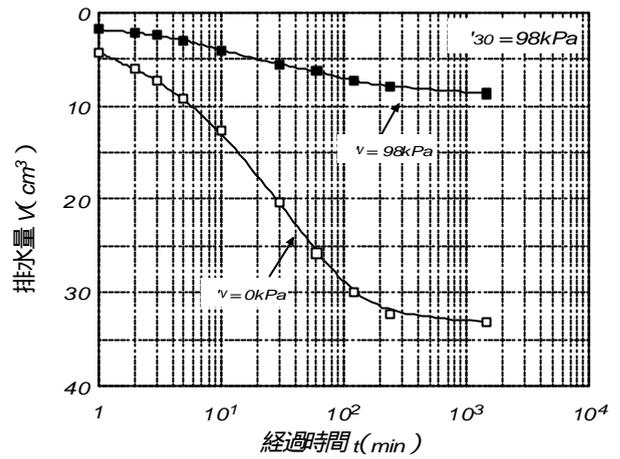


Fig.11 繰返し三軸試験時の圧密量と経過時間の関係

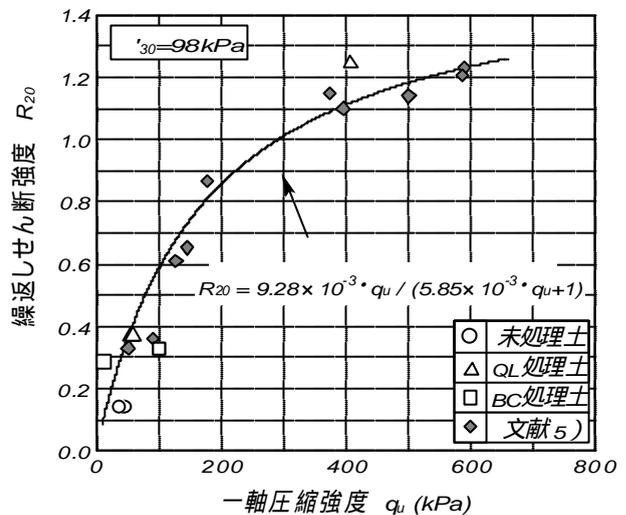


Fig.12 繰返しせん断強度と一軸圧縮強度の関係

に対して双曲線近似したところ、次式が得られた。

$$R_{20} = \frac{9.28 \times 10^{-3} \cdot q_u}{5.85 \times 10^{-3} \cdot q_u + 1} \quad (2)$$

ここで、式(2)中の一軸圧縮強度の単位は kPa である。図から実測値と近似曲線の適合性は良好である。善ら<sup>6)</sup>や山本ら<sup>7)</sup>は繰返しせん断強度と一軸圧縮強度の間に直線関係があることを示しているが、これらは  $q_u = 300 \text{ kPa}$  程度以下の低強度供試体に対してのものである。式(2)で与えられる曲線の代わりに  $q_u = 200 \text{ kPa}$  程度以下の領域の繰返しせん断強度の実測値を一軸圧縮強度の1次式で近似することも十分可能である。ここで注目したいのは、図中の◇印のデータは文献5)から引用したものであり、土および安定材の種類、安

定材の添加量，養生日数，供試体の作製方法，養生条件などが今回の大型圧密装置で作製したものと全く異なる点である。したがって，繰返しせん断強度と一軸圧縮強度の関係を 1. の冒頭で述べた影響因子をすべて包含するような形で式(2)により表せることは大変興味深く，また実用的でもある。

以上の結果をまとめると，善ら<sup>8)</sup>によれば砂質土の液状化対策における一軸圧縮強度の目安として 49～98 kPa が提唱されているが，安定処理土を加圧養生することで，このことは容易に達成され，しかも同時に高い繰返しせん断強度を得ることができると確められた。

## 5. 結論

本研究で得られた結論は以下のとおりである。

- 1) 加圧養生した安定処理土の沈下ひずみは経過時間が 1000 分以降でほぼ一定になり，沈下低減効果が認められる。
- 2) 安定処理土の一軸圧縮強度および変形係数は養生時の鉛直応力の増加に対してほぼ直線的に増加する。
- 3) 養生時の鉛直応力が大きいほど，安定処理土の繰返しせん断強度は大きくなる。
- 4) 安定処理土の一軸圧縮強度と繰返しせん断強度の間には，土および安定材の種類，安定材の添加量，養生日数，供試体の作製方法，養生条件，加圧条件によらず良い相関関係が認められる。

謝辞：一連の実験を行うにあたり古賀靖規氏（現 岡山市役所），本学学生 田口岳志氏にご助力いただきました。厚く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 馬場崎亮一，寺師昌明，鈴木健夫，前川 淳，川村政史，深沢栄造：安定処理土の強度に及ぼす影響因子，セメント系安定処理土に関するシンポジウム発表論文集，地盤工学会，pp.20-41，1996.
- 2) 小林 晃，龍岡文夫：セメント混合により改良した飽和軟弱粘性土の強度変形特性，生産研究，Vol.34，No.11，pp.32-35，1982.
- 3) 若槻良行，永田孝夫，伊藤 謙：混合処理した海中盛土材の強度特性，日本道路公団試験所報告，Vol.26，pp.21-32，1989.
- 4) 木幡行宏，前川晴義，矢島寿一，村本勝巳，馬場崎亮一：セメント系安定処理土の強度・変形特性について，セメント系安定処理土に関するシンポジウム発表論文集，地盤工学会，pp.1-19，1996.

- 5) 山本哲朗，鈴木素之，岡林茂生，藤野秀利，川島洋史：セメント系固化材により改良した種々の土の動的強度特性，第 34 回地盤工学研究発表会発表講演集，pp.877-878，1999.
- 6) 善 功企，山崎浩之，渡辺 篤，芳沢秀明，玉井章友：セメント混合した砂質土の埋立工法に関する研究 - 改良土の基本的特性と混合・埋立実験 - ，港湾技術研究所資料 No.579，1987.
- 7) 山本哲朗，鈴木素之，川島洋史，廖 峰，瀬川和宏，田本幸義，杉山智則：石灰およびセメント安定処理した粘土の繰返しせん断強度，第 3 回地盤改良シンポジウム発表論文集 -6，日本材料学会，pp.103-108，1998.
- 8) 善 功企，山崎浩之，佐藤 泰：事前混合処理工法による処理土の強度・変形特性，港湾技術研究所報告第 29 巻 第 2 号，pp.85-118，1990.

（平成 11 年 11 月 30 日受理）