

# 上載圧下で養生したセメント安定処理土の 一軸圧縮強度特性

山本 哲朗<sup>1</sup>・鈴木 素之<sup>2</sup>・岡林 茂生<sup>3</sup>・藤野 秀利<sup>4</sup>・田口 岳志<sup>5</sup>・藤本 哲生<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 山口大学教授 工学部社会建設工学科 (〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1)  
E-mail: tyamamoto@jim2.civil.yamaguchi-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 博(工) 山口大学助手 工学部社会建設工学科 (同上)  
E-mail: msuzuki@jim2.civil.yamaguchi-u.ac.jp

<sup>3</sup>工修 (株)宇部三菱セメント研究所宇部センター所長補佐 (〒755-8633 宇部市大字小串字沖の山 1-6)  
E-mail: 8371@ube-ind.co.jp

<sup>4</sup>正会員 (株)宇部三菱セメント研究所宇部センターセメントグループ (同上)  
E-mail: 30900u@ube-ind.co.jp

<sup>5</sup>学生会員 山口大学大学院理工学研究科博士前期課程 (〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1)

セメント安定処理土が施工後の原位置で受ける応力状態を再現するためモールド型圧密養生装置を開発し、それを用いて土の種類、改良材の種類と添加量、安定処理時の含水比、上載圧、養生時間、安定処理後に上載圧を載荷するまでの時間を変化させて、上載圧下で養生した安定処理土の圧密沈下特性と一軸圧縮強度特性を調べた。さらに、電子顕微鏡観察による微視的構造をもとに圧密現象に伴う密度増加とセメント水和反応に伴うセメンテーションが同時に起こる安定処理土の強度発現機構を考察した。その結果、安定処理土は固化開始前の初期材齢で圧密に伴う密度増加が認められ、これとセメンテーションの進行との相乗効果により、その後発揮される強度・変形特性が従来の大気圧下養生の場合と比べて著しく相違することが明らかになった。

**Key Words:** soil improvement, cement stabilization, unconfined compressive strength, overburden pressure, consolidation, curing, delayed loading, water content distribution, microstructure

## 1. はじめに

セメント系固化材で安定処理した地盤では、短期間に高強度が発現するため、圧密沈下やそれに伴う強度増加は一般に認知されていない。しかし、安定処理土地盤でも土要素は拘束圧を受けた状態にあり、固化開始前の施工の初期段階では圧密現象が生じて非排水強度が増加するものと考えられる。

現行の安定処理土の強度評価では、土の種類や状態、改良材の種類や添加量、材齢などの因子の影響はかなり把握されているが<sup>1),2)</sup>、施工後の原位置で受ける上載圧の影響は無視されている。既往の研究では、この事象は“加圧養生”や“圧密養生”といった用語で概念化されている<sup>3)~13)</sup>。小林・龍岡<sup>3)</sup>や Consoli, et al.<sup>13)</sup>は拘束圧を作用させた三軸セル内で養生した安定処理土に対して三軸圧縮試験を実施し、小林・龍岡<sup>3)</sup>は排水養生・非排水養生・大気圧下養生の3条件の差異を整理して、圧密と固化が同時に進行する排水養生条件が非排水せん断強度の増加をもたらすことを示し、Consoli, et al.<sup>13)</sup>は拘束圧の作用による自然堆積土のセメンテーション構造の損傷と

関連付けて、排水養生が剛性の増加をもたらすことを示している。一方、若槻ら<sup>4)</sup>や曾我部ら<sup>5)</sup>も上載圧を作用させたモールド内で養生した安定処理土に対して一軸圧縮試験を実施し、養生時の上載圧とその後の一軸圧縮挙動の関係についてほぼ同様な結果を示している。その他にもこれに関連した研究例が幾つかあり、現在までにデータの蓄積がはかられている。しかし、①固化処理後に拘束圧を作用させるまである程度の時間経過がある(たとえば、文献3),4)、②養生中の全期間を通じて上載圧が一定に保たれていない(たとえば、文献6),7),9)など実験条件の相違もあって、拘束圧下で養生した場合の安定処理土の力学的挙動やその影響因子は必ずしも十分かつ統一的に理解されていない。また、依然として実際の安定処理地盤の強度設計や改良材の配合計算で上載圧の影響は考慮されていないのが現状である。

著者らは、安定処理土の圧密に伴う強度増加の工学的な意味付けとその特性を把握することを目的として、安定処理土を上載圧下で一次的に圧密と養生を行う装置<sup>10)</sup>を新たに開発し、それを用いて安定処理土の圧密沈下特性と一軸圧縮強度特性を調べた。また、走査型電子顕

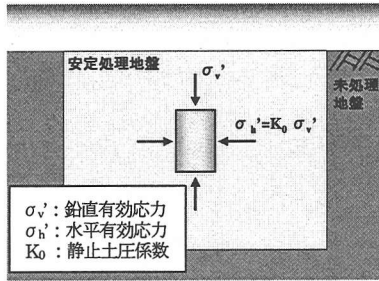


図-1 安定処理地盤内の土要素の有効応力状態 (模式図)

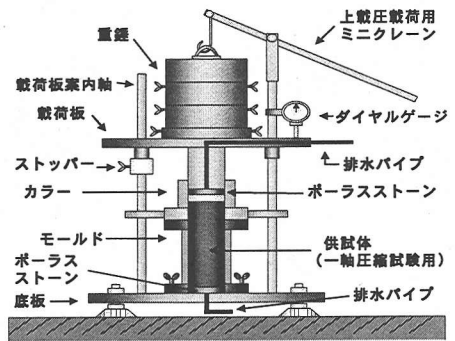


図-3 モールド型圧密養生装置 (模式図)

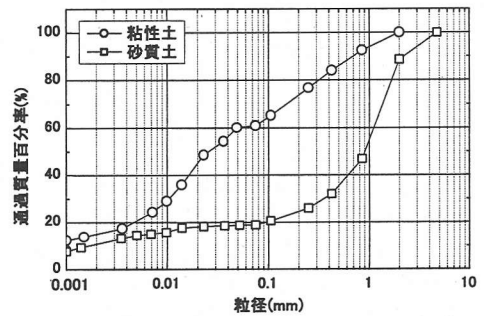
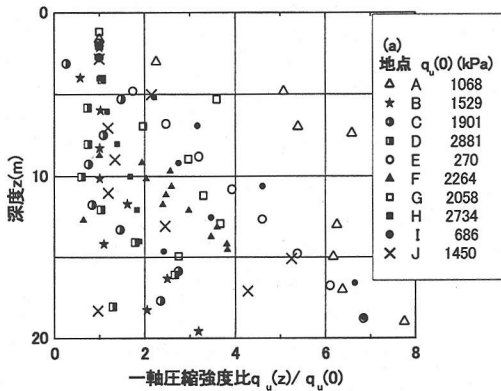


図-4 土試料の粒径加積曲線

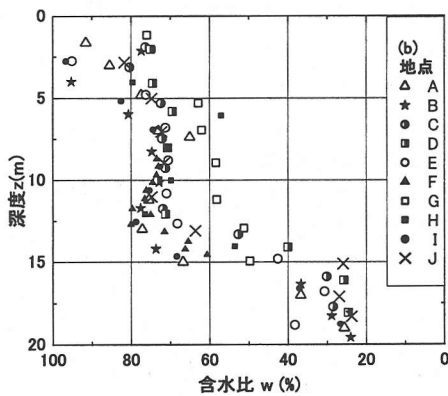


図-2 安定処理地盤における深度と一軸圧縮強度比  $q_u(z)/q_u(0)$  および深度と含水比  $w$  の関係 (文献 15) よりデータを引用)

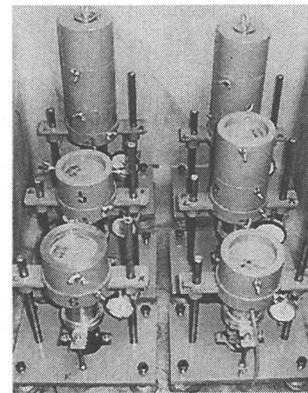


写真-1 養生箱にセットしたモールド型圧密養生装置

微鏡を用いて安定処理土の微視的構造も観察した。本論文は、これまでに得られたセメント安定処理した粘性土および砂質土の実験結果を整理した上で、圧密による密度増加を考慮した安定処理土の強度発現機構とその支配因子として改良材の種類・添加量、含水比、養生時間、安定処理後から上載圧を載荷するまでの時間の影響について考察したものである。なお、文中では安定処理土の

上載圧下における排水養生<sup>3)</sup>に対して“圧密養生”という用語を使用する。

## 2. セメント安定処理地盤の強度性状

図-1 に安定処理土地盤中の土要素の有効応力状態を

模式的に示す。土要素は拘束圧を受けた状態にあり、周囲の排水条件にも関連するが、固化開始前の施工の初期段階では圧密現象が生じて非排水強度が増加していると考えられる。これをある程度実証するデータとして、図-2(a)および(b)にそれぞれ高炉セメントB種による安定処理地盤から採取した不攪乱改良土の採取地点深度 $z$ と一軸圧縮強度比 $q_0(z)/q_0(0)$ および含水比 $w$ の関係を示す<sup>15)</sup>。ここに、 $q_0(z)/q_0(0)$ はある深度 $z$ での一軸圧縮強度 $q_0(z)$ を表層部( $z=0$ )での一軸圧縮強度 $q_0(0)$ (図中に凡例とともに記載)で正規化したものである。原地盤の土質は深度15~20m程度までシルトで構成されている。セメント安定処理工法はDMMである。各地点の一軸圧縮強度はいずれも深度すなわち有効土被り $\sigma_v'$ の増加に対して増加する傾向が認められる。また、図-2(b)に示すように、一軸圧縮試験で用いた不攪乱供試体の含水比も深度に対して減少している。これらのことから直ちに断定することはできないが、安定処理土地盤ではセメンテーション効果の他に圧密に伴う密度増加によって強度増加する可能性があることが示唆される。なお、一部の地点のデータにばらつきがみられるが、この原因として深度方向で土の粒度組成、含水比、セメント添加量および混合度や温度履歴が若干異なったためと考えられる。すなわち、室内試験と原位置の状態においては応力・変形状態だけでなく、対象土と固化材の配合・養生条件が異なるので、両者の力学的な挙動は厳密には一致しない。後述する室内試験結果は、土試料と固化材の配合・養生条件が同じであっても、図-2に示す結果と直接的に比較することはできないが、理想的な養生条件(均一な混合や恒温・恒湿条件など)における上載圧による一軸圧縮強度の増加の目安を与えるものである。

### 3. 上載圧下で養生した安定処理土の沈下特性と一軸圧縮強度

#### (1) モールド型圧密養生装置

図-3に著者らが開発したモールド型圧密養生装置の模式図を示す。本装置は鉄(一部ステンレス)製であり、底板(縦200mm, 横300mm, 厚さ20mm)に据え付けた載荷板案内軸、載荷板、重錘、カラー、鉛直変位測定用ダイヤルゲージおよびモールドから構成されている。モールド内に安定処理土試料が収められる。載荷板とモールドの底部にはポーラスストーンが取り付けられており、土試料の両端面から排水させることができる。載荷可能な上載 $\sigma_v$ は49, 98, 147kPaの3通りであり、これらはそれぞれ深度5, 10, 15m程度の有効土被り圧を想定してのものである。圧密容器として通常の二つ割りモールドを用いているので、養生後、試料は容易に脱型する

ことができ、試料に及ぼす機械的乱れの影響を少なくすることができる。ここで注意すべき点として、三軸圧縮試験における供試体は等方圧密条件下にあるのに対して、本装置におけるモールド内の供試体は一次元圧密条件下にあることである。特に $K_0$ 三軸試験を実施しない限り、原位置で普通にみられる応力・変形状態を再現している点でモールドを用いる本装置の方がより適していると考えられる。しかも、三軸圧縮試験では固化処理直後に自立した供試体を作製することは一般に困難であるが、本装置では固化処理直後の安定処理土に上載圧を載荷でき、固化未了の養生初期段階から拘束圧を作用させることができる。また、これに引き続いて一軸圧縮試験を実施したのは、固化材の配合設計等で通常実施されデータの蓄積があり、しかも原位置と室内の安定処理土の強度特性を比較する上で有利なためである。

#### (2) 土試料・供試体・試験手順

土試料は山口県宇部市で採取した粘性土(土粒子密度: $\rho_s=2.687\text{ g/cm}^3$ , 最大粒径: $D_{\max}=2.0\text{ mm}$ , 湿潤密度: $\rho_i=1.80\text{ g/cm}^3$ , 自然含水比: $w_n=45.0\%$ , 液性限界: $w_L=45.4\%$ , 塑性指数: $I_p=25.3$ , 細粒分含有率: $F_c=61.0\%$ )と、山口県吉敷郡阿知須町で採取した砂質土( $\rho_s=2.693\text{ g/cm}^3$ ,  $D_{\max}=4.8\text{ mm}$ ,  $\rho_i=2.10\text{ g/cm}^3$ ,  $w_n=16.3\%$ ,  $w_L=36.6\%$ ,  $I_p=14.2$ ,  $F_c=18.9\%$ )を用いた。図-4に両土試料の粒径加積曲線を示す。土試料と改良材の配合手順は地盤工学会基準「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法(JGS0821-2000)」<sup>16)</sup>に準じている。試験手順を以下に簡単に記す。①カラーを取り付けたモールド(直径:50mm, 高さ:100mm)内面にシリコングリースを塗布したフィルムを装着し、やや多めに安定処理土を充填する。このときモールドを軽く打撃して気泡を除去する。②モールドを本装置底板に設置した後、恒温・恒湿条件下(温度20℃, 相対湿度95%)の養生箱(写真-1参照)に移動する。③載荷板、ダイヤルゲージ、ストッパー、重錘を順にセットする。④試料に衝撃を与えないように上載圧を載荷する。⑤所定期間の養生後、モールドから脱型した試料の高さを100mmに仕上げ、上下端面を平滑化し、直ちに一軸圧縮試験(軸ひずみ速度:1.0%/min)を行う。なお、一部の供試体について、供試体中央部から試料を取り出し、走査型電子顕微鏡(以下、“SEM”と略す)により土粒子の微視的構造を観察した。

供試体の端面成形では、石こうなどによるキャッピングは行わず、直ナイフを用いて上下端面を成形し、十分に研磨した<sup>16)</sup>。セメント安定処理土に対する一軸および三軸圧縮試験では、供試体端面を例えば石こうなどを用いてキャッピングする必要があり、それにより供試体の変形・応力の一様性は向上するが、ベッディングエラーを完全に除去できないことが報告されている<sup>17)</sup>。本研究

表-1 改良材の種類と添加量  $Q_c$  を変えた試験ケースと試験結果 (粘性土)

Test No.	改良材の種類 と添加量 $Q_c$ (kg/m <sup>3</sup> )		上載圧 $\sigma_c$ (kPa)	養生時間 $T_c$ (day)	最終沈下 ひずみ $\epsilon_v$ (%)	圧密終了時間 $t_c$ (min)	圧密養生後 の含水比 $w_d$ (%)	湿潤密度 $\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	一軸圧縮強度 $q_u$ (kPa)	破壊ひずみ $\epsilon_f$ (%)	変形係数 $E_{50}$ (MPa)
0-0-1	無添加		0	7	-	-	40.2	1.73	4	15.0	-
0-0-2			49		12.87	2000	32.0	1.79	20	15.0	-
0-0-3			98		13.71	1200	30.1	1.84	26	15.0	-
0-0-4			147		17.05	1100	27.1	1.86	48	15.0	-
1-1-1	50	OPC	0	7	-	-	41.8	1.78	421	1.8	80.9
1-1-2			49		3.72	150	39.6	1.81	621	1.3	134.9
1-1-3			98		6.01	120	37.8	1.83	720	0.9	156.6
1-1-4			147		7.34	90	36.3	1.85	861	0.9	133.9
1-2-1	100	OPC	0	7	-	-	40.1	1.82	1284	1.6	207.1
1-2-2			49		1.88	90	38.7	1.82	1406	1.2	334.7
1-2-3			98		2.98	85	35.0	1.83	1729	0.9	411.7
1-2-4			147		3.72	85	35.7	1.84	1956	0.8	465.7
1-3-1	150	OPC	0	7	-	-	36.4	1.83	1850	1.3	259.7
1-3-2			49		1.15	90	35.9	1.83	1756	1.0	243.9
1-3-3			98		1.73	85	35.5	1.84	2005	0.8	401.7
1-3-4			147		2.63	80	35.1	1.84	2269	0.7	540.3
2-1-1	50	固化材	0	7	-	-	41.3	1.78	479	1.5	108.9
2-1-2			49		3.33	190	42.4	1.80	641	0.7	139.3
2-1-3			98		5.21	180	37.4	1.80	775	0.7	176.2
2-1-4			147		6.53	150	36.3	1.85	852	0.7	163.8
2-2-1	100	固化材	0	7	-	-	38.7	1.80	1711	1.4	285.1
2-2-2			49		1.35	95	36.5	1.80	1878	0.9	335.4
2-2-3			98		2.98	95	34.5	1.83	2174	0.8	362.4
2-2-4			147		4.15	90	33.6	1.83	2365	0.7	369.5
2-3-1	150	固化材	0	7	-	-	36.5	1.81	2318	1.2	388.4
2-3-2			49		1.15	90	35.0	1.81	2299	0.9	425.8
2-3-3			98		2.26	85	33.5	1.84	2715	0.9	554.1
2-3-4			147		3.38	85	31.8	1.85	3137	0.8	667.3

表-2 安定処理時の含水比  $w_0$  を変えた試験ケースと試験結果 (砂質土)

Test No.	改良材の種類 と添加量 $Q_c$ (kg/m <sup>3</sup> )		処理時の 含水比 $w_0$ (%)	上載圧 $\sigma_c$ (kPa)	養生時間 $T_c$ (day)	最終沈下 ひずみ $\epsilon_v$ (%)	圧密終了時間 $t_c$ (min)	圧密養生後 の含水比 $w_d$ (%)	湿潤密度 $\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	一軸圧縮強度 $q_u$ (kPa)	破壊ひずみ $\epsilon_f$ (%)	変形係数 $E_{50}$ (MPa)
3-0-1	50		18.5	0	7	-	-	16.0	2.10	1314	1.1	263
3-0-2				49		0.54	98	16.3	2.08	1365	1.0	201
3-0-3				98		0.65	133	15.9	2.09	1707	0.7	397
3-0-4				147		0.78	125	15.6	2.10	1896	1.1	249
3-1-1	50		20.7	0	7	-	-	17.7	2.05	1325	1.1	207
3-1-2				49		0.69	121	17.8	2.06	1374	0.6	362
3-1-3				98		1.15	139	17.2	2.06	1547	0.9	267
3-1-4				147		1.59	144	17.2	2.07	1830	0.7	436
3-2-1	50		23.0	0	7	-	-	19.8	2.02	1035	1.2	179
3-2-2				49		1.23	171	19.7	2.01	1103	0.8	240
3-2-3				98		2.18	167	18.4	2.03	1357	1.0	234
3-2-4				147		3.03	145	18.0	2.06	1552	0.8	235
3-3-1	50		25.2	0	7	-	-	23.3	2.00	631	1.3	137
3-3-2				49		2.30	210	21.7	2.01	833	0.9	189
3-3-3				98		3.63	222	20.9	2.01	951	0.7	170
3-3-4				147		4.92	170	20.2	2.02	1005	0.8	219

表-3 養生時間  $T_c$  を変えた試験ケースと試験結果 (粘性土)

Test No.	改良材の種類 と添加量 $Q_c$ (kg/m <sup>3</sup> )		上載圧 $\sigma_c$ (kPa)	養生時間 $T_c$ (day)	最終沈下 ひずみ $\epsilon_v$ (%)	圧密養生後 の含水比 $w_d$ (%)	湿潤密度 $\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	一軸圧縮強度 $q_u$ (kPa)	破壊ひずみ $\epsilon_f$ (%)	変形係数 $E_{50}$ (MPa)	
4-1-1	50		OPC	0	1	-	41.2	1.79	232	2.7	49.9
4-1-2				49		3.45	36.5	1.81	317	1.5	84.5
4-2-1				3	-	42.0	1.78	338	2.0	46	
4-2-2					49	2.62	39.8	1.79	419	1.1	71
4-3-1				7	-	41.8	1.78	421	1.8	80.9	
4-3-2					49	3.72	39.6	1.81	621	1.3	134.9
4-4-1	14	-	41.3	1.77	519	1.5	118.6				
4-4-2		49	4.5	37.8	1.81	699	0.7	174.8			

においても供試体端面の平滑化の一方法として石こうによるキャッピングを検討したが、以下の理由により直ナイフを使う方法を採用した。①本試料は直ナイフで容易に成形・研磨することができる。②本研究では養生時間や遅延載荷時間などの影響を検討しているので、上載圧

を除荷した直後に一軸圧縮試験を実施する必要がある、石こうによるキャッピングにかかる一連の作業に十分な時間を要することができない。③石こうが固まるときに水和熱が発生し、そのとき水和反応で水分が消費されるために供試体端部での含水比が変動する可能性がある。

表-4 安定処理後から上載圧を載荷するまでの時間 $\Delta T$ を変えた試験ケースと試験結果 (粘性土)

Test No	改良材の種類 と添加量 $Q_c$ (kg/m <sup>3</sup> )	養生時間 $T_c$ (day)	遅延載荷時間 $\Delta T$ (min)	上載圧 $\sigma_v$ (kPa)	最終沈下 ひずみ $\varepsilon_v$ (%)	圧密養生後 の含水比 $w_d$ (%)	湿潤密度 $\rho_w$ (g/cm <sup>3</sup> )	一軸圧縮強度 $q_u$ (kPa)	破壊ひずみ $\varepsilon_c$ (%)	変形係数 $E_{50}$ (MPa)
5-1	OPC	50	7	49	2.27	36.5	1.80	575	1.0	141.5
5-2					1.26	37.2	1.79	453	0.8	112.0
5-3					0.94	38.3	1.76	428	0.8	107.0
5-4					0.35	41.2	1.77	378	1.1	124.6
5-5					0.32	40.7	1.78	401	1.6	109.4
5-6					0.14	42.0	1.78	424	1.2	104.5
5-7					0.18	41.3	1.78	434	1.7	71.5
5-8					0.09	41.9	1.79	428	1.3	107.3
5-9					0.05	41.5	1.76	435	1.1	108.7
5-10					0.01	40.5	1.77	448	2.0	76.3
6-1				147	5.35	34.2	1.84	809	0.6	202.2
6-2					2.87	35.8	1.80	684	0.5	171.0
6-3					1.29	37.2	1.78	561	0.7	224.5
6-4					0.84	40.2	1.79	392	0.8	78.5
6-5					0.29	41.1	1.78	387	0.9	55.3

なお、各供試体の破壊時の状況を観察したところ、引張りクラックが生じるような破壊形式はみられなかった。

表-1 に改良材の種類と添加量を変えた試験ケースと結果を示す。試料は粘性土とし、改良材は普通ポルトランドセメント(以下、“OPC”と略す)と一般軟弱土用固化材(以下、“固化材”と略す)の2種類とし、改良材添加量  $Q_c$  は0, 50, 100, 150 kg/m<sup>3</sup>の4通りで変化させている。固化材の成分は SiO<sub>2</sub>: 15~25%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 3.5%以上, CaO: 40~70%, SO<sub>3</sub>: 4.0%以上である。表-2 に安定処理時の含水比  $w_0$  を変えた試験ケースと結果を示す。試料は砂質土とし、 $w_0$  は土と固化材の材料分離を生じない範囲で、18.5, 20.7, 23.0, 25.2%の4通りで変化させている。表-3 に養生時間  $T_c$  を変えた試験ケースと結果を示す。試料は粘性土とし、 $T_c$  は1, 3, 7, 14 daysの4通りで変化させている。表-4 に安定処理後から上載圧を載荷するまでの時間 $\Delta T$  を変えた試験ケースと結果を示す。試料は粘性土とし、 $\Delta T$  を0~3 daysの範囲において、 $\sigma_v=49$  kPaの場合には11通り、 $\sigma_v=147$  kPaの場合には6通りほど変化させている。なお、表中の記号のうち、 $w_c$  および  $\rho_w$  はそれぞれ圧密養生後の一軸圧縮試験における供試体作製時の含水比および湿潤密度を指している。

### (3) 典型的な安定処理土の圧密沈下挙動

図-5(a), (b)に上載圧下で養生した安定処理した粘性土の沈下ひずみ  $\varepsilon_v$  と対数表示の経過時間  $t$  の関係を示す。 $\varepsilon_v$  は図-3 に示した圧密養生装置で測定した沈下量  $\Delta H$  を供試体の初期高さ  $H_0$  で除して百分率表示したものである。図-5(a)および(b)にはそれぞれ OPC および 固化材を添加した場合の試験結果を示しており、いずれも  $Q_c=50$  kg/m<sup>3</sup> である。図-5(a)の  $\sigma_v=49$  kPa の場合、処理土の沈下曲線は  $t=40$  min 以内では未処理土のそれとほぼ同じであるが、 $t=100$  min 以降で沈下ひずみはほぼ一定になっている。いずれの  $\sigma_v$  でも  $t=100$  min 以降で  $\varepsilon_v$  は一定になっている。図-5(b)の  $\sigma_v=49$  kPa の場合もほ

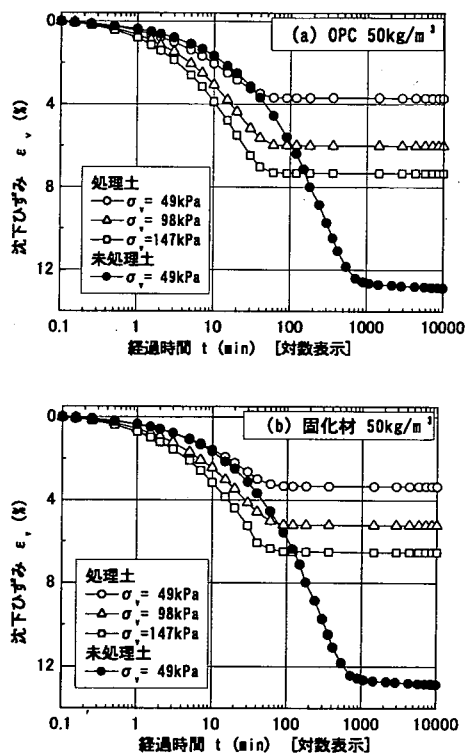


図-5 改良材の種類が異なる場合の沈下ひずみ  $\varepsilon_v$  と経過時間  $t$  の関係

ぼ同様な結果が得られている。このことは  $t=100$  min を目安にして、それ以降でセメンテーション効果が土の圧密現象よりも優勢になり、上載圧による圧密沈下が抑制されたためと考えられる。換言すれば、圧密に伴う有効応力の増分を分担する固結力が土粒子骨格間に生じたためといえる。ちなみに、固化材自体の凝結時間・硬化開始時間は約2~3時間である。また、養生時間が7日経過

した時点の最終的な沈下ひずみ  $\epsilon_f$  は、 $\sigma_v$  が大きいほど大きく、未処理土のそれに比べて1/4~1/2程度となっている。なお、曾我部ら<sup>6)</sup>もほぼ同様な結果を示しているが、セメセメントスラリーを添加した高含水粘性残土に対して上載圧 (3.92MPa 標準) を20 min 間載荷した後、供試体を取り出して水中養生しており、①圧力域が非常に高いこと、②圧密終了時間の決定が不明確なこと、③養生中に上載圧が一定に保たれていないことから、本文では直接的な結果の比較は行っていない。また、この他の研究<sup>7,9)</sup>でも上載圧を所定時間載荷した後、供試体を恒温・恒湿条件で大気圧下養生している点に注意したい。

#### (4) 典型的な安定処理土の一軸圧縮挙動

図-6~10 に上載圧下で所定時間養生した後に実施した一軸圧縮試験の結果を示す。図-6 (a) および (b) には応力・ひずみ曲線を養生時の  $\sigma_v$  ごとに示しており、図中のデータはそれぞれ図-5 (a) および (b) のそれに対応している。図-6 (a) の OPC を使用した  $\sigma_v = 49 \text{ kPa}$  の場合、応力・ひずみ曲線は大気圧下養生すなわち  $\sigma_v = 0 \text{ kPa}$  のそれに比べて上方に位置しており、一軸圧縮強度  $q_0$  が著しく増加していることがわかる。全体として、応力・ひずみ曲線は  $\sigma_v$  が大きくなるにつれて左上にシフトしている。図-6 (b) の固化材を使用した試験結果においてもほぼ同様である。

次いで、図-7 および図-8 にそれぞれ図-6 (a) および (b) で示したデータから求めた破壊ひずみ  $\epsilon_f$  および変形係数  $E_{50}$  と  $\sigma_v$  の関係を示す。図-7 から  $\epsilon_f$  は  $\sigma_v$  の増加に対して減少する傾向にあることが分かる。また、図-8 から  $E_{50}$  は  $\sigma_v$  の増加に対して増加する傾向にあることが分かる。これらの傾向は土試料の種類や状態、改良材の種類や添加量に依存するようである。これらのことから、養生時の上載圧の作用により安定処理土の剛性は高くなるようである。ただし、 $E_{50}$  は試料の乱れやベディングエラーに大きく影響を受けることに注意する必要がある。既往の研究では、試料の乱れの影響が無視できる場合、①ベディングエラーの影響による剛性の過小評価<sup>18)</sup>、②局所変形測定装置 (LDT) による微小ひずみの測定<sup>19)</sup>、③石こう等を用いたキャッピングによる供試体の変形・応力の一様性<sup>17)</sup> などが詳細に検討され、硬質地盤材料の一軸および三軸圧縮試験の方法が改善されるとともに、応力・ひずみ関係の非線形性はひずみレベルを規定すれば精度良く評価できることが分かっている。本研究では、特にひずみレベルを規定した上で変位測定装置の選択を検討していないので、得られた  $E_{50}$  の値は上記の要因を多少なりとも含む概略の値であるといえる。

さらに、養生時の上載圧の作用による一軸圧縮強度の増加をより詳細に検討するために、図-6 (a), (b) で示したデータから求めた  $q_0$  と  $\sigma_v$  の関係について示したものを

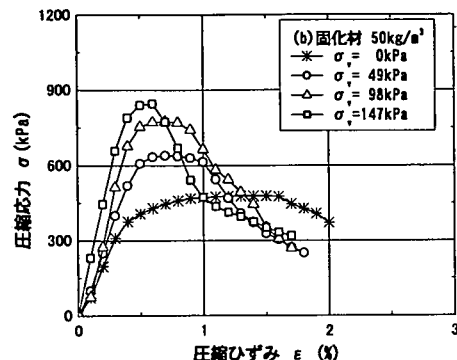
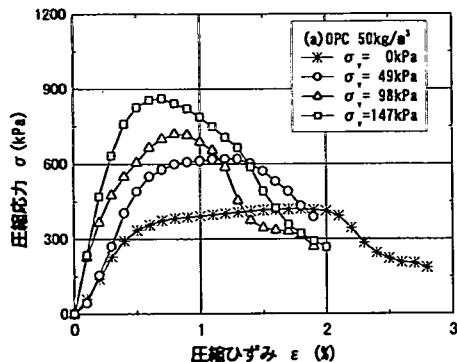


図-6 改良材の種類が異なる場合の圧縮応力  $\sigma$  と圧縮ひずみ  $\epsilon$  の関係

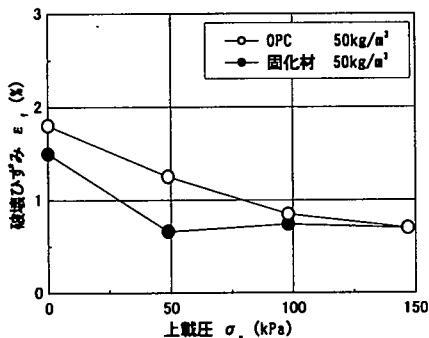


図-7 上載圧  $\sigma_v$  と破壊ひずみ  $\epsilon_f$  の関係

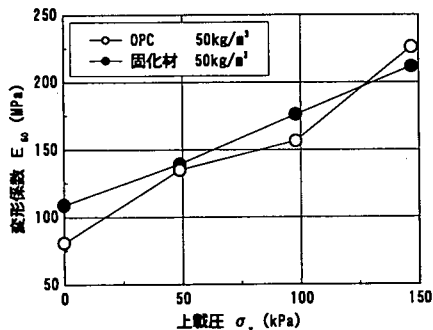


図-8 上載圧  $\sigma_v$  と変形係数  $E_{50}$  の関係

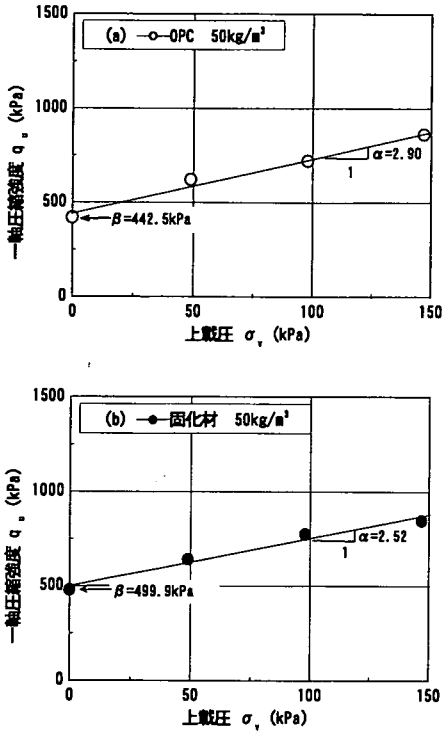


図-9 上載圧  $\sigma_v$  と一軸圧縮強度  $q_u$  の関係

図-9(a), (b)に示す。図-9(a)の OPC の  $q_u$  は  $\sigma_v$  の増加に対して直線的に増加している。ここで、 $q_u$  と  $\sigma_v$  の間に直線関係があるものと仮定して、傾き  $\alpha (= \Delta q_u / \Delta \sigma_v)$  と切片  $\beta$  を求めると、この場合  $\alpha = 2.90$ 、 $\beta = 442.5$  kPa が得られる。 $\alpha$  は  $\sigma_v$  による  $q_u$  の増加の割合を表し、 $\alpha/2$  は圧密養生による強度増加率ともいうべき指標に相当する。また、 $\beta$  は  $\sigma_v = 0$  kPa のときの  $q_u$  値であり、従来の安定処理土の強度評価指標に相当する。図-9(b)の固化材を使用した試験結果でもほぼ同様であり、この場合  $\alpha = 2.52$ 、 $\beta = 499.9$  kPa が得られる。次節で言及するが、改良材添加量が異なる試験結果でも、 $q_u$  と  $\sigma_v$  の間には直線関係が認められる。ここで、 $\alpha$  と  $\beta$  の共通の影響因子として試料の種類や状態および改良材の種類や添加量が考えられる。特に、 $\alpha$  は室内試験や原位置の状態に関連した排水条件や試料の透水性に強く依存するものと考えられ<sup>(5),(9)</sup>、圧密養生効果に及ぼす上記の影響因子の詳細な把握は今後の重要な検討課題である。

### (5) 改良材添加量の影響

ここでは改良材添加量  $Q_c$  が圧密沈下挙動および一軸圧縮挙動に及ぼす影響について検討する。3. (3) で一部述べた最終沈下ひずみ  $\varepsilon_v^*$  および圧密終了時間  $t_c^*$  と  $Q_c$  の関係をそれぞれ図-10(a) および(b)に示す。 $t_c^*$  は 3 t 法により決定した圧密打ち切り時間で、圧密終了時間の目安として

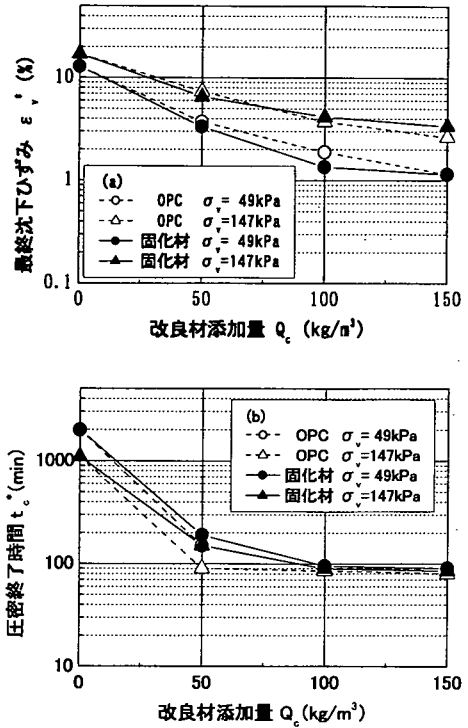


図-10 改良材添加量  $Q_c$  と最終沈下ひずみ  $\varepsilon_v^*$  および圧密終了時間  $t_c^*$  の関係

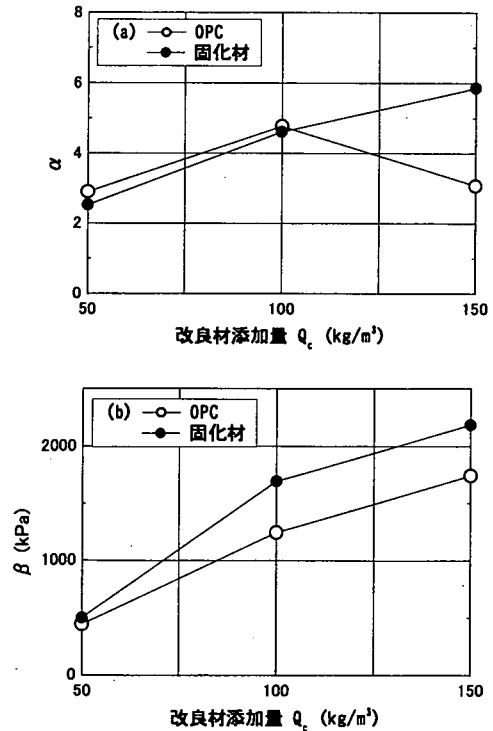


図-11 改良材添加量  $Q_c$  と  $\alpha$ 、 $\beta$  の関係

用いた。なお、図中で用いた  $\varepsilon_v$  および  $l_c$  の値は表-1 に示している。図-10(a)で OPC の  $Q_c$  の増加に伴い  $\varepsilon_v$  は小さくなっている。また、 $Q_c$  一定の下では  $\sigma_v$  の増加に伴い  $\varepsilon_v$  は大きくなっている。図-10(b)で改良材を添加することで、 $l_c$  は大幅に減少し、 $Q_c=50 \text{ kg/m}^3$  以上では  $l_c$  はほぼ一定の 100 min 程度の値となる。これより改良材添加量を増やすと、最終沈下ひずみは小さくなり、圧密終了時間も小さくなる。次に、3. (4) で定義したパラメータ  $\alpha$  および  $\beta$  と  $Q_c$  の関係をそれぞれ図-11(a) および (b) に示す。これら  $\alpha$ 、 $\beta$  は異なる複数の上載圧下で養生した安定処理土供試体に対する一軸圧縮試験から決定したものであるが、圧密養生装置を用いて作製した安定処理土の一軸圧縮強度のばらつきを調べる予備試験を行った結果、同一条件(5 ケース)において強度の変動幅は平均値の  $\pm 5\%$  の範囲に入ることを確認している。図-11(a) から、固化材の場合、 $Q_c$  を増やすと、 $\alpha$  は大きくなる傾向にあるが、OPC の場合、両者の間に一定の傾向はみられない。図-11(b) から、 $Q_c$  を増やすと  $\beta$  は大きくなり、その度合いは固化材の方が高い。これより、固化材の方が OPC よりも  $\alpha$  および  $\beta$  の値が総じて大きいので、圧密とセメンテーション効果に優れている。この理由として、固化材の方が OPC よりも石膏 ( $\text{CaSO}_4$ ) を多く含むため、エトリンガイト ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ) が多量に生成したものと考えられる。

### (6) 安定処理した砂質土における含水比の影響

ここでは安定処理時の含水比  $w_0$  が圧密沈下挙動および一軸圧縮挙動に及ぼす影響について検討する。図-12~14  $w_0$  が異なる場合の試験結果を示す。図-12(a)~(d) に  $w_0$  が異なる供試体の沈下ひずみ  $\varepsilon_v$  と対数表示の経過時間  $t$  の関係を示している。図中のデータは、表-2 に示したように、固化処理時の含水比を 18.5、20.7、23.0、25.2% の 4 通りで変化させている。砂質土の場合においても、前述した①  $\sigma_v$  の増加に伴い沈下ひずみ  $\varepsilon_v$  は大きくなる、②  $t=100 \text{ min}$  程度で  $\varepsilon_v$  はほぼ一定になる等、これまで得られた  $\varepsilon_v-t$  曲線の傾向と同じである。新たな知見としては、安定処理土の場合においても  $w_0$  の増加に伴って  $\varepsilon_v$  が大きくなることである。このことは後述するように上載圧による一軸圧縮強度の増加の度合いを変化させることに帰着する。

図-13(a)~(d) にこれに引き続き行った一軸圧縮試験の結果を示す。砂質土の場合においても、前述した③  $\sigma_v$  の増加に伴い  $q_0$  は大きくなり、④  $q_0$  と  $\sigma_v$  の間に直線関係がある等、粘性土の場合とほぼ同じ傾向が得られている。追加すべき点として、 $w_0$  が高いほど、 $\sigma-\varepsilon$  曲線は下方に位置し、 $q_0$  は小さくなることである。この傾向は従来の非圧密供試体による  $q_0$  と  $w_0$  の関係と同様である。ただし、安定処理時の含水比  $w_0$  が比較的高くになると、

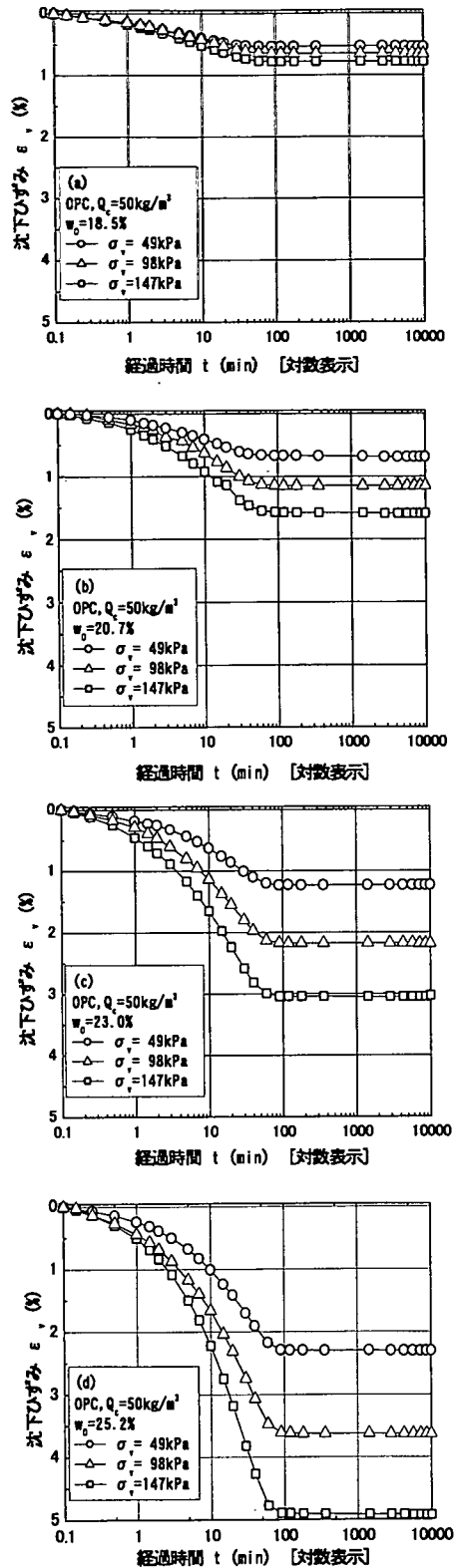


図-12 安定処理時の含水比  $w_0$  が異なる場合の沈下ひずみ  $\varepsilon_v$  と経過時間  $t$  の関係



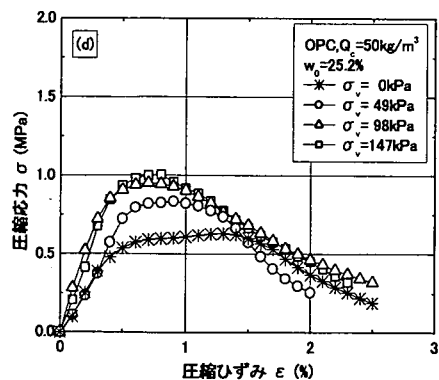
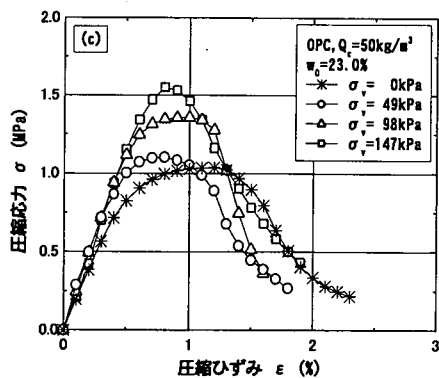
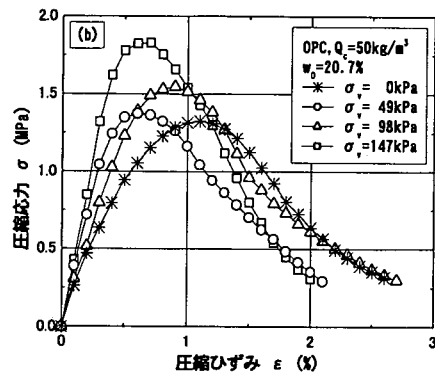
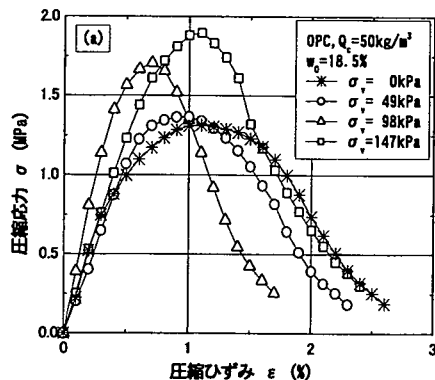


図-13 安定処理時の含水比  $w_0$  が異なる場合の圧縮応力  $\sigma$  と軸ひずみ  $\epsilon$  の関係

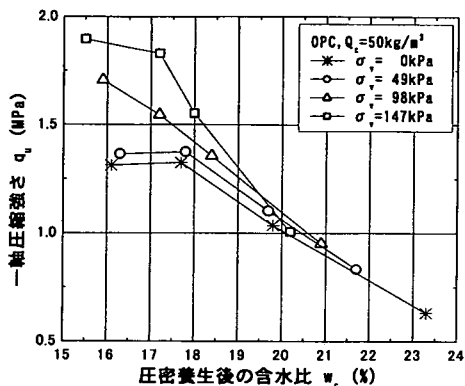


図-14 養生後の含水比  $w_c$  と一軸圧縮強度  $q_0$  の関係

$q_0$  と  $\sigma_v$  の間の直線関係の度合いは低くなる。このことは、圧密養生後すなわち一軸圧縮試験直前の含水比  $w_c$  が異なるためである。

図-14 に異なる  $\sigma_v$  の下で圧密養生した供試体の  $q_0$  と  $w_c$  の関係を示す。全体的に、 $q_0$  は  $w_c$  の増加に対して減少しており、この結果をみると、 $w_c$  が 20 % 程度より低い領域では  $\sigma_v$  の変化に対する  $q_0$  の変化は大きい、 $w_c$  がにそれよりも高い領域ではその度合いは小さくなり、いずれの曲線も一定の領域に収束するとみられる。このことは文献 3) で示唆されていたことでもある。いずれにせよ、安定処理後の載荷による圧密養生効果は高い含水比領域では現れにくいことを示している。

### (7) 養生時間の影響

ここでは養生時間  $T_c$  が圧密沈下挙動および一軸圧縮挙動に及ぼす影響について検討する。図-15~17 に  $T_c$  が異なる場合の試験結果を示す。図中のデータは、表-3 に示したように、養生時間を 1, 3, 7, 14 days の 4 通りに変化させている。上載圧の有効な作用時間は安定処理土供試体に有意な密度変化を生じさせる養生の初期段階までのものと考えられるので、その期間における上載圧による強度増加特性を調べることを目的として、試験ケースにおける最大の養生日数は 14 日間とした。図-15 に示す沈下曲線は  $T_c$  の値によらずほぼ同じになり、最終的な沈下ひずみもほとんど差異がない。ゆえに、 $T_c$  が異なる供試体のいずれにおいても初期材齢で生じる圧密による密度増加はほぼ同じ程度であると考えられる。図-16 に示す応力・ひずみ曲線は、 $T_c$  が大きいほど、上方に位置している。 $T_c$  の増加は応力・ひずみ曲線の初期接線の傾きをわずかに増加させるようであるが、もつぱら  $q_0$  の増加に寄与しているといえる。図-17 にはこのときの  $q_0$  を対数表示の  $T_c$  について整理したものを示している。なお、比較のために大気圧下養生すなわち  $\sigma_v=0$  kPa のデータも示している。養生日数 14 日までのデータに限れば、

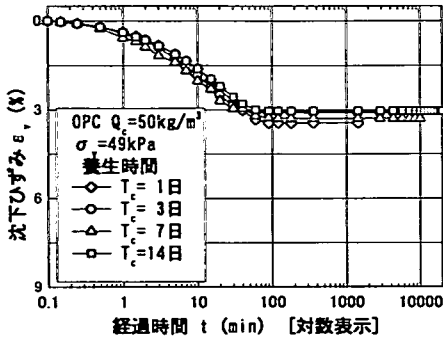


図-15 養生時間  $T_c$  が異なる場合の沈下ひずみ  $\varepsilon_v$  と経過時間  $t$  の関係

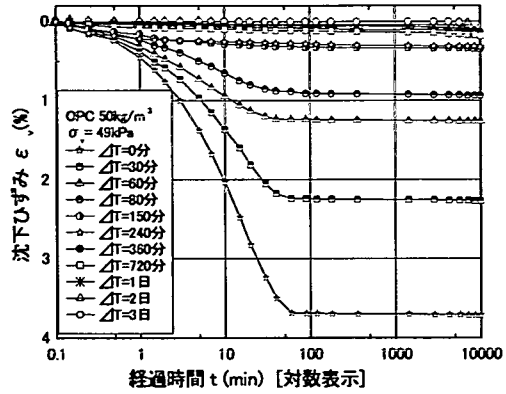


図-18 遅延載荷時間  $\Delta T$  が異なる場合の沈下ひずみ  $\varepsilon_v$  と経過時間  $t$  の関係

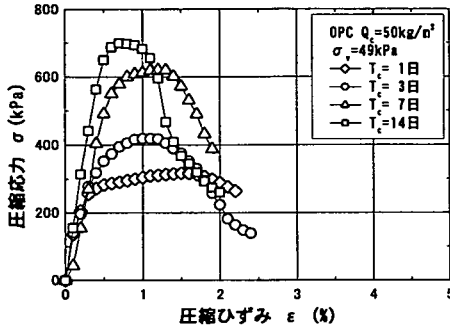


図-16 養生時間  $T_c$  が異なる場合の圧縮応力  $\sigma$  と圧縮ひずみ  $\varepsilon$  の関係

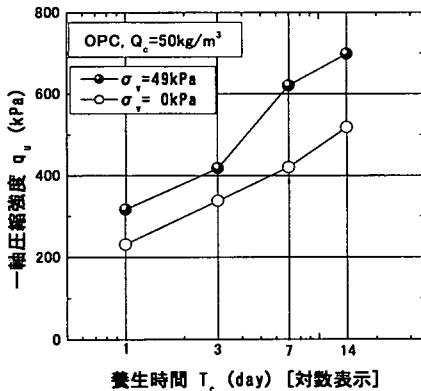


図-17 養生時間  $T_c$  と一軸圧縮強度  $q_u$  の関係

上載圧下および大気圧下養生のどちらの場合においても、一軸圧縮強度の経時変化は同じ傾向を示している。既往の研究では、セメントボンドの時硬性により、材齢とともに化学的セメンテーション効果が増大し、変形係数および強度が増加するとされている<sup>17), 20)</sup>。上載圧下で養生した安定処理土においては、養生初期に生じた骨格構造の変化による強度差をある程度保持したまま、その後の

セメンテーションの進行によって材齢とともに一軸圧縮強度が増加するといえる。

#### (8) 安定処理後から上載圧を載荷するまでの時間の影響

図-18~20 に安定処理後から上載圧を載荷するまでの時間（以後、“遅延載荷時間”とする） $\Delta T$  が異なる場合の試験結果を示す。ここで、安定処理した盛土材や埋戻し材の段階施工など実際の施工法に関連して、安定処理後に上載圧の載荷が遅れるような事態は普通に想定されるので、このような遅延載荷による安定処理土の強度変化を把握することは重要である。図中のデータは、表-4 に示したように、 $\Delta T=0\sim 3$  days の範囲で 11 通りに変化させている。図-18 に沈下曲線を示しているが、沈下ひずみは  $\Delta T=100$  min 以内では即時的に生じているものの、それ以降ではほとんど生じていない。また、 $\Delta T$  が大きいほど、最終的な沈下ひずみが小さくなる。 $\Delta T=100$  min を目安にして安定処理土の圧密沈下挙動は大きく異なる。このことは、前述したように、安定処理後 100 min 経過した時点でセメンテーション効果が圧密現象よりも優勢になるためと考えられる。図-19 には図-18 のデータに対応する応力・ひずみ曲線を示している。ここでも比較のために大気圧下養生すなわち  $\sigma_v=0$  kPa のデータを示している。 $\Delta T$  が大きくなるほど、応力・ひずみ曲線は下方に位置するようになり、 $\Delta T=150$  min の場合に最も低い位置になる。また、 $\Delta T=1$  day 以降の応力・ひずみ曲線は大気圧下養生したものと同様になっていく。図-20 にこのときの  $q_u$  を対数表示の  $\Delta T$  について整理したものを示す。図中には  $\sigma_v=147$  kPa のデータを追加している。 $\sigma_v$  の値によらず、 $q_u$  は  $\Delta T$  の増加に伴って徐々に減少した後、最終的に大気圧下養生のそれに近づいていく。このことは、大気圧下養生すなわち無荷重下で発達したセメンテーション構造はその後の上載圧の載荷により物理的な変化をほとんど受けていないことを意味し、

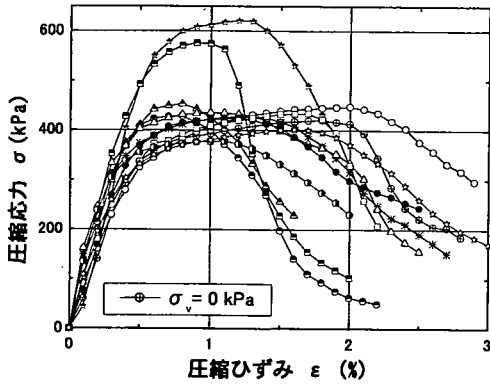


図-19 遅延載荷時間 $\Delta T$ が異なる場合の圧縮応力 $\sigma$ と圧縮ひずみ $\varepsilon$ の関係

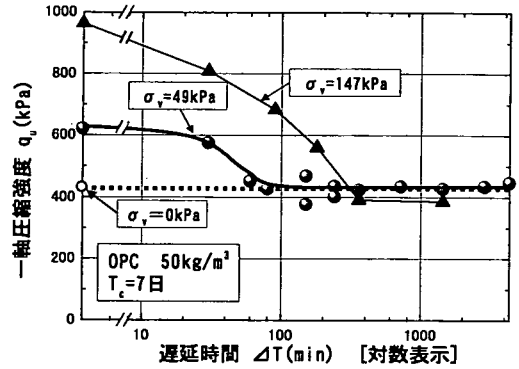


図-20 遅延載荷時間 $\Delta T$ と一軸圧縮強度 $q_0$ の関係

セメンテーション効果が優勢になってからの上載圧の荷重は一軸圧縮強度の増加に何ら寄与しないといえる。

以上の議論を通じて、上載圧下の安定処理土では圧密現象とセメント水和反応が同時に進行し、セメンテーションがある程度発達してくると、上載圧による圧密沈下が抑制されてくるので、両者は不可分の関係にあるといえる。上載圧下における密な状態でセメンテーションが発達すると、緩い状態におけるそれよりも、土粒子同士の接触点が多く土粒子間距離の短い状態で水和生成物が土粒子間に架橋し、高強度を発揮する堅固な骨格構造が形成されると考えられる。

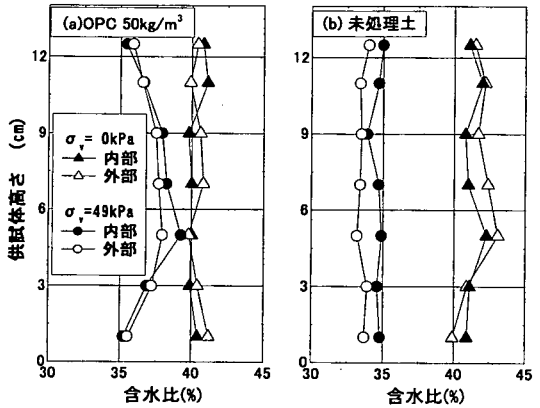


図-21 処理土および未処理土の含水比分布

水比分布はセメントの水和反応によって土粒子間のセメンテーションが進行し、間隙水が端部に移動しにくくなり、結果として封じ込められたためと考えられる。

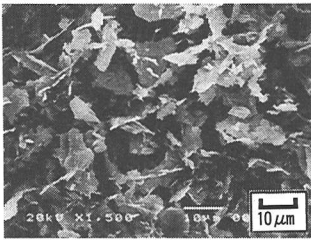
#### 4. 上載圧下で養生したセメント安定処理土の微視的構造

##### (1) 圧密養生後の供試体の含水比分布

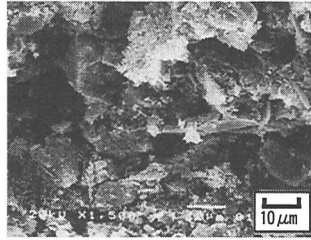
図-21(a)および(b)にそれぞれ処理土および未処理土供試体内の含水比分布を示す。図の縦軸に供試体高さ、横軸に含水比をとっている。含水比は供試体の中心および外側を高さ約2.0 cm間隔で測定した。土試料は粘性土、改良材はOPC( $Q_c=50 \text{ kg/m}^3$ 添加)であり、 $\sigma_v=0$ および49 kPaの2通りとした。図-21(a)の処理土供試体の含水比分布では、 $\sigma_v=0 \text{ kPa}$ のデータ( $\blacktriangle$ ,  $\triangle$ )をみると、大気圧下養生後の含水比はその測定箇所によらず概ね40~41%である。一方、 $\sigma_v=49 \text{ kPa}$ のデータ( $\bullet$ ,  $\circ$ )をみると、圧密養生後の含水比は $\sigma_v=0 \text{ kPa}$ に比べて一般に小さいが、供試体の上下端面に近い部分で35~36%、供試体中央部で37~38%となっている。これと比較するために示した図-21(b)の未処理土供試体の含水比分布においては、同じ条件( $\sigma_v=49 \text{ kPa}$ ,  $T_c=7 \text{ days}$ )での含水比は供試体の高さ方向に対してほぼ等しい34~35%となっていることから、処理土供試体でみられた放物線状の含

##### (2) 走査型電子顕微鏡による微視的構造の観察

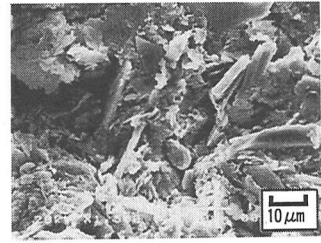
処理土と未処理土の微視的構造の差異をSEMにより観察した。観察試料は乾燥収縮の影響を除去するため、安定処理した粘性土供試体を凍結乾燥法で作製した。SEMの倍率は1500倍である。写真-2(a), (b)はそれぞれ $\sigma_v=0$ , 147 kPaの場合における未処理土の微視的構造を示している。写真中で暗い部分を間隙部分とみなすと、未処理土では、圧密による間隙部分の減少により、その構造は密実化しているようである。次に、写真-2(c), (d)はそれぞれ $\sigma_v=0$ , 147 kPaの場合におけるOPC処理土の微視的構造を示している。これより、安定処理土では、圧密による間隙部分の減少とともにセメンテーションの進行によって、その構造は密実で堅固なものに変化しているようである。OPCのSEM写真ではエトリンガイトの微小な針状結晶が少量確認された。このことは、OPCではその含有石こう量が少ないため、エトリンガイト( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ )がモノサルフェート( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$



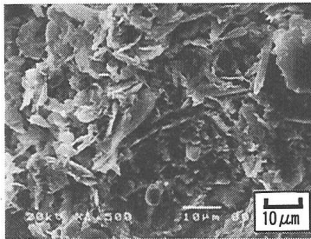
(a) 未処理土 ( $\sigma_v=0\text{kPa}$ )



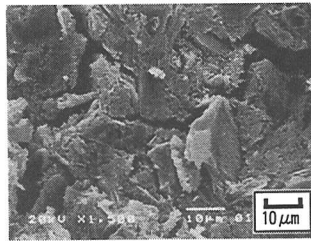
(c) OPC ( $\sigma_v=0\text{kPa}$ )



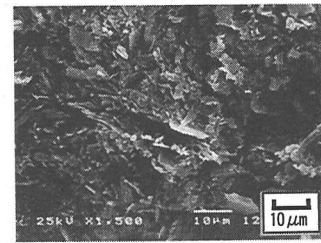
(e) 固化材 ( $\sigma_v=0\text{kPa}$ )



(b) 未処理土 ( $\sigma_v=147\text{kPa}$ )



(d) OPC ( $\sigma_v=147\text{kPa}$ )



(f) 固化材 ( $\sigma_v=147\text{kPa}$ )

写真-2 SEM 写真による土粒子構造

$\text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ )に変化しやすいためと考えられる<sup>1), 2)</sup>。一方、石こう量がOPCよりも多い固化材を添加した場合の写真-2(e), (f)をみると、セメント水和生成物であるエトリンガイトの細い針状結晶が粘土粒子を拘束するような形で多量生成されているのがわかる。

## 5. 結論

本論文は上載圧下で養生したセメント安定処理土の圧密沈下特性と一軸圧縮強度特性を中心に考察したものである。新たに得られた知見は以下のとおりである。

- (1) 試作したモールド型圧密養生装置では原位置で受けるような有効土被り圧の下で安定処理土を養生することができる。
- (2) 今回用いた土試料と改良材に限れば、安定処理土の沈下ひずみは100分程度経過した時点でほぼ一定になる。また、最終沈下ひずみは、上載圧が大きいほど大きくなり、未処理土のその1/4~1/2程度に抑制される。
- (3) 安定処理土においても初期材齢では圧密による密度増加が生じている。
- (4) 安定処理土の一軸圧縮強度は養生時の上載圧の増加に対して直線的に増加する。今回用いた土試料と改良材に限れば、上載圧による一軸圧縮強度の増加割合は約2.5~6.0である。
- (5) 養生時の上載圧が大きいほど、一軸圧縮試験におけ

る破壊ひずみは小さく、変形係数は大きくなる傾向にあり、総じて破壊挙動は脆性的なものになる。

- (6) 上載圧による一軸圧縮強度の増加割合は、安定処理した粘性土に対する試験結果から改良材の種類および添加量によって異なり、また安定処理した砂質土に対する試験結果から安定処理時の含水比によっても異なる。
- (7) 養生日数を14日間に限れば、上載圧下で養生した場合も、大気圧下で養生した場合と同様に、一軸圧縮強度は養生時間の経過とともに増加する。
- (8) 圧密養生後の含水比の増加に対して一軸圧縮強度は減少し、安定処理後の載荷による圧密養生効果は20%程度以上の含水比領域では現れにくい。
- (9) 安定処理後に上載圧の載荷を遅らせると、その時間の経過に対して沈下量および一軸圧縮強度の値は減少し、100~360分経過以降で大気圧下養生時の値に近づく。
- (10) 電子顕微鏡により上載圧下で養生したセメント安定処理土の微視的構造を観察した結果、上載圧下で養生した場合のセメント安定処理土は、大気圧下で養生した場合よりも密実な構造に変化していることが推定される。

謝辞:本研究を遂行する上で(株)宇部三菱セメント研究所宇部センターセメントグループ・田坂行雄氏、丸屋英二氏、米田修氏、宇部三菱セメント(株)金城徳一氏、山田一義氏、(株)中電技術コンサルタント・乗安直人氏、

(有) 中原鉄工所・中原 信氏, 本研究室大学院生・川島洋史氏(現 (株)ウエスコ), 同学生・坊垣内 真氏の各氏には多大なるご援助をいただいた。ここに記して, 上記の方々に深く感謝の意を表す次第である。

#### 参考文献

- 1) セメント協会: セメント系固化材による地盤改良マニュアル[第二版], 技報堂出版, 1994.
- 2) 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.
- 3) 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IV, 生産研究, Vol. 34, No. 11, pp. 32-35, 1982.
- 4) 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.
- 5) 荻島達也, 日下部治, 野本 寿, 三戸憲二: 遠心養生されたセメント改良土の強度特性, 第 24 回土質工学研究発表会発表講演集, pp. 1953-1954, 1989.
- 6) 曾我部 博, 相原篤郎, 山田清臣, 斎藤 聡, 山崎之典: セメント混合・加圧脱水処理による高含水粘性残土の改良に関する実験的研究, 土木学会論文集, No. 540/VI-31, pp. 113-122, 1996.
- 7) 中間哲志, 石橋正光, 斎藤 聡: 深層混合処理工法による砂地盤改良における室内配合試験の基礎的検討-(その 2) 初期硬化時の上載圧力の影響-, 第 33 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 2201-2202, 1998.
- 8) 飯島正和, 矢島寿一: 拘束圧を受けながら養生したセメント改良土の挙動と強度に関する研究, 第 34 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 861-862, 1999.
- 9) 平出 亜, 石川 浩, 白木原隆雄: 砂質土におけるスラリー系安定処理土の供試体作成方法について, 第 34 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 879-880, 1999.
- 10) Barbosa-Cruz, E.R. and Tatsuoka, F.: Effects of stress state during curing on stress-strain behavior of cement-mixed sand, *Proc. of 2nd Int. Conf. on Pre-failure Deformation Characteristics of Geomaterials*, pp. 509-516, 1999.
- 11) 周郷啓一, 菅井正澄, 藤山哲雄, 龍岡文夫: セメント改良粘土の異方応力状態の養生による降伏曲面の発達, 第 35 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 1233-1234, 2000.
- 12) 菅井正澄, 藤山哲雄, 内村太郎, 龍岡文夫: セメント改良粘土の原位置応力履歴における変形特性, 第 35 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 1235-1236, 2000.
- 13) Consoli, N.C., Rotta, G.V. and Prietto, P.D.M.: Influence of curing under stress on the triaxial response of cemented soils, *Geotechnique*, Vol. 50, No. 1, pp. 99-105, 2000.
- 14) 岡林茂生, 藤野秀利, 山本哲朗, 鈴木素之, 田口岳志: 上載圧下で養生した安定処理土の一軸圧縮強度特性, 第 4 回地盤改良シンポジウム発表論文集, 日本材料学会, pp. 95-102, 2000.
- 15) 中国電力株式会社: 柳井(発)護岸工事に伴う地盤改良のチェックボーリング工事報告書(社内資料), 1986.
- 16) 地盤工学会: 土質試験の方法と解説-第一回改訂版-, 地盤工学会, pp. 308-316, 2000.
- 17) 澁谷 啓, 三田地利之, 小澤 裕: セメント混合砂の変形・強度特性における時硬性および拘束圧履歴依存性, 土木学会論文集, No. 687/III-56, pp. 249-257, 2001.
- 18) 龍岡文夫, 木幡行宏: ベディングエラー, 土と基礎, Vol. 42, No. 9, pp. 53-55, 1994.
- 19) Goto, S., Tatsuoka, F., Shibuya, S., Kim, Y.-S. and Sato, T.: A simple gauge for small strain measurements in the laboratory, *Soils and Foundations*, Vol. 31, No. 1, pp. 169-180, 1991.
- 20) 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.
- 21) 岡林茂生, 田坂行雄, 丸屋英二: セメント安定処理した泥炭の強度発現性について, 第 35 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 1223-1224, 2000.

(2001.6.13 受付)

## UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH OF CEMENT-STABILIZED SOIL CURED UNDER AN OVERBURDEN PRESSURE

Tetsuro YAMAMOTO, Motoyuki SUZUKI, Shigeo OKABAYASHI, Hidetoshi FUJINO, Takeshi TAGUCHI and Tetsuo FUJIMOTO

The effect of the overburden pressure during curing on the unconfined compressive strength of cement-stabilized soils was examined using a newly developed apparatus, which could apply an overburden pressure below 150 kPa to a cement-stabilized soil under an one-dimensional consolidation condition. The test results showed that the unconfined compressive strength of the cement-stabilized soil increased linearly with the increase of overburden pressure. The cement-stabilized soil cured under the overburden pressure showed a brittle shear behavior as compared with that cured soil under no overburden pressure. Furthermore, scanning electron microscope observations clarified that the cement-stabilized soil cured under the overburden pressure had a very stiff microstructure.