

## 浚渫ヘドロ脱水ケーキの一次元圧縮試験

脇谷芳招\* 藤井弘章\*\* 西村伸一\*\*\* 井上隆司\*\*\*

### One-dimensional Compression Tests of Sludge Cake from Dredged Sludge

Yoshiaki WAKITANI\*, Hiroaki FUJII\*\*, Shin-ichi NISHIMURA\*\*\* and Takashi INOUE\*\*\*

(Received October 31, 2000)

One-dimensional compression tests were performed to investigate compression characteristics of sludge cake used as a construction material. The sludge cake is dewatering product of dredged sludge from the bottom of a lake. The test results show following compression characteristics. (1) For the undisturbed samples,  $e$ -log  $p$  curves show compressibility of overconsolidated clay ordinarily observed. (2) For the disturbed samples, there observed compressibility close to that of ordinary normally consolidated clay. (3) For the recompressed samples, there observed two turning points on  $e$ -log  $p$  curve. The compression pressures ( $p_{c1}$  and  $p_{c2}$ ) at those points for the unsubmerged tests have a linear correlation with the recompression pressure ( $p_r$ ). The submerged tests give very small values of  $p_{c1}$  and  $p_{c2}$  compared with the case of unsubmerged test. (4) For the recompressed samples, the first compression index ( $C_{c1}$ ) after  $p_c$  has a linear correlation with the initial void ratio ( $e_0$ ), and the second compression index ( $C_{c2}$ ) shows almost constant value.

**Key words :** *sludge cake, one-dimensional compression test,  $e$ -log  $p$  curve, compression index, void ratio*

#### 1 はじめに

環境問題に対する社会的関心が高まるなかで、廃棄物の排出抑制・再資源化の面から、建設副産物の再利用促進が図られている。平成7年度調査結果ではアスファルト・コンクリート塊のリサイクル率が80%を超える一方で、建設発生土や建設汚泥のリサイクル率がそれぞれ32%,14%と低迷している(池田,1998)。港湾・河川・湖沼の浚渫底泥は産業廃棄物としての取扱いはされないが、建設汚泥と同様にそのまま再利用することが難しい低品質の高含水比粘性土である。建設汚泥の再利用のための処理方法には、自然あるいは機械式の脱水処理,改良材を使用する固化による安定処理,1,000℃程度の熱処理による焼成処理および1,500℃程度の熱処理による熔融処理があり、一般には脱水処理と安定処理が多く実施されている(山本,1997)。浚渫底泥についても脱水処理(例えば,荻野ら,2000)と安定処理(例えば,松原ら,1999)による実施事例が報告されてい

る。

淡水湖底泥の処理に関して、岡山県の児島湖で浚渫ヘドロを強制脱水して盛土材料に使用している。児島湖はおよそ40年前に児島湾の一部を締切って淡水化し、農業用水の水源として利用してきた。淡水化以来、多量に流入する排水が要因となって湖水の富栄養化が進み、環境悪化が社会問題になってきた。このため、農林水産省が水質の浄化を計画し、湖底のヘドロを浚渫している(小田,1997)。浚渫ヘドロは凝集材を添加して強制脱水し、これを脱水ケーキと称している。

盛土材として使用する脱水ケーキには次のような問題があると考えられる。(1)盛土直後の脱水ケーキは大きな粒状体としての性質が顕著である。(2)圧縮荷重の増加および時間の経過と共に粒状体の形状が壊れ始める。(3)最後には脱水ケーキは連続体に変化する。(4)脱水ケーキを用いた盛土は水面下では飽和、水面上では不飽和状態である。脱水処理した浚渫底泥(伊藤・大北,1998)あるいは建設汚泥(勝又,1998)が建設材料として有用であることが盛土試験により確認されているが、(1)~(4)の観点からの力学的特性は明らかにされていない。

藤井ら(1999a;2000)は脱水ケーキの圧縮挙動を明らか

\*サンスイコンサルタント株式会社(現岡山大学大学院自然科学研究科)

\*\*岡山大学環境理工学部環境管理工学科

\*\*\*岡山大学大学院自然科学研究科

にするために、室内圧縮試験、遠心荷試験、模型土槽実験を行っている。本文では室内圧縮試験により(a)粒状体から連続体への移行、(b)飽和または不飽和の挙動、という2つの変形特性を検討した。実験試料として児島湖現地の仮置き場から実際の脱水ケーキを採取し、標準圧密試験機および大型圧密試験機を用いて一次元圧縮試験を行った。脱水ケーキの不攪乱試料と練返し試料を供試体とした他に、粒状体から連続体へ移行する圧縮挙動を模擬するために圧縮試料を用いた。圧縮試料は脱水ケーキを練混ぜて再圧縮し、粒状体にカットして作成した。圧縮試料では不飽和状態と飽和状態とで圧縮挙動を比較するために、非水浸試験と水浸試験を行った。

## 2 供試体および実験方法

### 2.1 浚渫ヘドロと脱水ケーキ

ヘドロの物理的性質は浚渫位置により違っているが、汚濁負荷の低減のために浚渫対象とする湖底のヘドロと、湖流を改善するために浚渫対象とするミオ筋のヘドロに大別して、平均的には **Table 1** に示している数値であるとされている(藤井, 1997)。

ヘドロの浚渫は、児島湖を左岸側と右岸側に2分して、それぞれの工区で高濃度浚渫船で行われている。浚渫ヘドロは送泥管で脱水処理ヤードに圧送して2日貯留し、上澄水を除去している。その後、凝集材を混合攪拌し、フィルタープレスにより加圧して、脱水ケーキとしている。脱水処理ヤードは工区ごとに築造し、標準型フィルタープレスを各工区に3台づつ設置している。凝集剤の標準添加量は乾燥泥1000kg当たり、ポリ塩化アルミニウム60kg、消石灰12kgであり、加圧は600~700kN/m<sup>2</sup>で100分としている。圧縮直後の脱水ケーキは2.0m四方、厚さ10cmであり、運搬中に5~35cmに破碎される(藤井, 1997)。

実験には現地で採取した実際の脱水ケーキを使用した。採取した脱水ケーキは、左岸側3ヶ所、右岸側1ヶ所から浚渫したヘドロを基にしており、それぞれ Cake A, Cake B, Cake C, Cake D と称する。**Table 2** に採取した脱水ケーキごとの平均的な物理的性質を示している。含水比は41%~110%、液性限界は103%~154%とケーキごとに違っている(藤井ら, 1999a)。

### 2.2 供試体の作成

不攪乱試料と練返し試料を供試体とした他に、粒状体から連続体に移行する圧縮挙動を室内試験で模擬するため、圧縮試料を作成した。採取した脱水ケーキをそのまま用いるのではなく圧縮試料を作成した目的は、粒状体を作成する際の取扱いを容易にすることと、初期状態に変化を持たせた試料を作成することである。

(1) 不攪乱試料: 採取した Cake A と Cake B を乱さないで、

**Table 1** 浚渫対象としているヘドロの物理的性質

項目	湖底	ミオ筋
土粒子密度 $G_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.58	2.67
含水比 $w$ (%)	200	100
粒度組成		
砂分 (%)	5	45
シルト, 粘土分 (%)	95	55
液性限界 $w_L$ (%)	120	70
塑性限界 $w_p$ (%)	40	30
塑性指数 $I_p$	80	40

**Table 2** 採取した脱水ケーキの物理的性質

項目	Cake A	Cake B	Cake C	Cake D
土粒子密度 $G_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.67	2.75	2.64	2.61
含水比 $w$ (%)	41	75	78	110
液性限界 $w_L$ (%)	-	-	103	154
塑性限界 $w_p$ (%)	-	-	61	66
塑性指数 $I_p$	-	-	42	88

それぞれ直径6cm、高さ2cmに切出して供試体とした。

(2) 練返し試料: 採取した Cake C と Cake D にそれぞれ水を加えて練返し、2mmフルイあるいは0.425mmフルイで裏ごし(土質工学会, 1990a)して粒度調整した。

(3) 圧縮試料: 現地で採取した Cake C に水を加えて練返し、大型圧密試験機を用いて高さ5mmあるいは20mmの円盤状に再圧縮して、ワイヤソーで5mm角あるいは20mm角の立方体にカットした。以後、5mm角、20mm角にカットした圧縮試料をそれぞれ5mm試料、20mm試料と呼ぶ。大型圧密試験機は内径18cm×高さ60cmの亚克力製円筒で、重りまたは圧縮空気により載荷する構造である(藤井ら, 1999b)。試料作成圧力  $p_c$  は空気圧で157, 314, 628 kN/m<sup>2</sup>の3種類とした。試験機に詰める試料は、5mm角では圧縮後の高さが20mmになる量とし、円盤4枚に分離できるように濾紙で区切っておいた。20mm角では圧縮後の高さが40mmになる量とし、円盤2枚に分離できるように濾紙で区切っておいた。圧縮時間は3t法(土質工学会編, 1990b)により圧縮が収束する時間として定め、5mm角では60分、20mm角では100分とした。カットした個々の立方体を圧縮試料粒体あるいは単に粒体と称する。

### 2.3 実験方法

不攪乱試料と練返し試料は標準圧密試験機、圧縮試料は試料作成に用いた大型圧密試験機を使用して、段階荷による一次元圧縮試験を行った。圧縮試料では非水浸試験と水浸試験を行った。

(1) 不攪乱試料: 標準圧密試験機を用いて一次元圧縮試験を行った。圧縮圧力  $p$  は9.8, 19.6, 39.2, 78.5, 157, 314, 628kN/m<sup>2</sup>とし、24時間ごとの段階荷とした。

(2) 練返し試料: 標準圧密試験機を用いて一次元圧縮試験を行った。圧縮が短時間で収束するため、荷重は1時間ご

との段階載荷とし、 $p$  は  $9.8\text{kN/m}^2$  から試験可能な範囲までとした。

(3)圧縮試料:大型圧密試験機を使用して段階載荷による一次元圧縮試験を行った。圧縮が短時間で収束するため、載荷は1時間ごとの段階載荷とし、 $p$  は重りの載荷で1, 3, 5,  $9.8\text{kN/m}^2$ , 空気圧で9.8, 19.6, 39.2, 78.5, 157, 314,  $628\text{kN/m}^2$  とした。載荷条件は、載荷①: 空気圧だけの段階の載荷、載荷②: 重りと空気圧の両方での段階の載荷、の2とおりとした。5mm試料は初期高さが約2cmになる量を試験機に緩く詰め、不飽和状態と飽和状態の圧縮特性を比較するため、非水浸試験と水浸試験を行った。水浸試験では試験機本体を水槽に入れ、最初の載荷前に試料を水浸状態にした。載荷②の水浸試験では粒径による挙動の相違を比較するために20mm試料も使い、20mm試料は初期高さを約8cmとした。

### 3 圧縮試料の相構成

圧縮試料の相構成を Fig.1 に模式的に示している。 $V$  は体積を表わし、添字は  $s$  が土粒子、 $c$  が圧縮試料粒体、 $cv$ 、 $cw$ 、 $ca$  がそれぞれ粒体内間隙、水、空気、 $A$  が粒体間空隙、 $v$  が粒体内間隙と粒体間空隙との合計を表わしている。粒体は飽和状態であるので、 $V_{cv}=0$  である。水浸試験では空隙  $V_A$  も水で満たされる。

通常の間隙比  $e$  は式(1) で表わされる。 $e$  は粒体内間隙と粒体間空隙の大きさを同時に表わしているといえる。

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_{cv} + V_A}{V_s} \quad (1)$$

粒体を単体で考えて、土粒子に対する粒体内間隙の体積比を粒体間隙比  $e_c$  と定義すると、 $e_c$  は式(2) で表わされる。

$$e_c = \frac{V_{cv}}{V_s} \quad (2)$$

土粒子に対する粒体間空隙の体積比を空隙比  $e_v$  と定義すると、 $e_v$  は式(3) で表わされる。

$$e_v = \frac{V_A}{V_s} = e - e_c \quad (3)$$

粒体に対する粒体間空隙の体積比を見かけ空隙比  $e_A$  と定義すると、 $e_A$  は式(4) で表わされる。

$$e_A = \frac{V_A}{V_c} = \frac{V_A}{V_s + V_{cv}} = \frac{e - e_c}{1 + e_c} \quad (4)$$

不攪乱試料と練返し試料では  $V_{cv}=0$  であり、 $e=e_c$ 、 $e_v=0$ 、 $e_A=0$  となる。

## 4 試験結果

### 4.1 試験結果の概要

試験結果の概要を Table 3(a)~(d) に示している。

(1)不攪乱試料: Table 3(a) の不攪乱試料は初期状態でほと

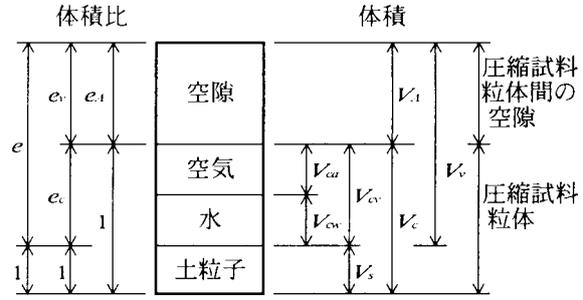


Fig.1 圧縮試料の相構成の説明図

んど飽和されており、飽和度は  $S_{r0}=90\sim 100\%$  である。初期含水比  $w_0$  と初期間隙比  $e_0$  は、Cake A では  $w_0=40\sim 42\%$ 、 $e_0=1.08\sim 1.22$ 、Cake B では  $w_0=62\sim 78\%$ 、 $e_0=1.83\sim 2.08$  と差異があり、圧縮指数  $C_c$  も Cake A で  $C_c=0.23\sim 0.28$ 、Cake B で  $C_c=0.48\sim 0.80$  と大きな違いがある。

(2)練返し試料: Table 3(b) の練返し試料でも、初期状態でほとんど飽和されており  $S_{r0}=95\sim 100\%$  である。 $w_0$  と  $e_0$  は試料作成時の裏ごしフルイ目にもより、Cake C のフルイ目 2.0mm では  $w_0=127\sim 139\%$ 、 $e_0=3.35\sim 3.52$ 、フルイ目 0.425mm では  $w_0=115\sim 121\%$ 、 $e_0=2.99\sim 3.19$ 、フルイ目 0.425mm では  $w_0=205\sim 208\%$ 、 $e_0=5.50\sim 5.52$  と違いが見られ、圧縮指数  $C_c$  も Cake C のフルイ目 2.0mm で  $C_c=0.67\sim 0.71$ 、フルイ目 0.425mm で  $C_c=0.84\sim 0.90$ 、Cake D のフルイ目 2.0mm で  $C_c=0.65\sim 0.72$ 、フルイ目 0.425mm で  $C_c=1.36\sim 1.44$  と違った傾向を示している。

(3)圧縮試料(載荷①): Table 3(c) の圧縮試料(載荷①)の初期状態では粒体が飽和していても空隙があるため、試料全体の初期飽和度は  $S_{r0}=31\sim 43\%$  である。ただし、水浸試験では載荷前にこの空隙が水で満たされ、試料全体が飽和される。圧縮試料では基にした脱水ケーキが Cake C のみである。 $w_0$  と  $e_0$  は試料作成圧力  $p_s$  により、 $p_s=157\text{kN/m}^2$  で  $w_0=70\sim 75\%$ 、 $e_0=4.36\sim 5.44$ 、 $p_s=314\text{kN/m}^2$  で  $w_0=64\sim 67\%$ 、 $e_0=4.04\sim 5.03$ 、 $p_s=628\text{kN/m}^2$  で  $w_0=56\sim 61\%$ 、 $e_0=3.77\sim 4.87$  と違いが見られる。圧縮指数  $C_c$  は試料の初期状態や非水浸試験・水浸試験の区別に関わりなく、 $C_c=0.82\sim 1.02$  の範囲にあり、ほぼ一定値を示している。

(4)圧縮試料(載荷②): Table 3(d) の圧縮試料(載荷②)で、5mm試料では試料全体の初期飽和度が  $S_{r0}=31\sim 47\%$  である。水浸試験で空隙が水で満たされ、試料全体が飽和されるのは載荷①と同様である。基にした脱水ケーキは Cake C のみである。 $w_0$  と  $e_0$  は  $p_s$  により、 $p_s=157\text{kN/m}^2$  で  $w_0=68\sim 73\%$ 、 $e_0=4.02\sim 5.47$ 、 $p_s=314\text{kN/m}^2$  で  $w_0=63\sim 69\%$ 、 $e_0=3.50\sim 4.69$ 、 $p_s=628\text{kN/m}^2$  で  $w_0=53\sim 59\%$ 、 $e_0=3.74\sim 4.59$  と差異が見られる。後で詳述するように圧縮指数は2とおり現れる。最初の圧縮指数は、非水浸試験では  $C_{c1}=1.53\sim 2.68$  の範囲にあり、水浸試験では  $C_{c1}=1.15\sim 2.70$  の範囲にある。2番目の圧縮指数は試料の初期状態に関わりなく、非水浸試験で  $C_{c2}=0.92\sim$

Table 3(a) 試験概要 (不攪乱試料)

No.	脱水 ケーキ	初期 含水比 $w_0$ (%)	初期 間隙比 $e_0$	初期 飽和度 $S_{r0}$ (%)	圧縮 指数 $C_c$	圧密降 伏応力 $p_c$ ( $\text{kN/m}^2$ )
1-1	Cake A	40.45	1.067	100	0.260	96
1-2		41.44	1.208	100	0.280	140
1-3		40.00	1.191	90	0.226	42
1-4		42.00	1.226	92	0.276	53
1-5	Cake B	71.98	1.867	100	0.687	140
1-6		77.99	2.083	103	0.796	120
1-7		62.00	1.828	93	0.478	90

Table 3(b) 試験概要 (練返し試料)

No.	脱水 ケーキ	裏ごし フルイ 目 (mm)	初期 含水比 $w_0$ (%)	初期 間隙比 $e_0$	初期 飽和度 $S_{r0}$ (%)	圧縮 指数 $C_c$
2-1	Cake C	2.0	127.29	3.524	95	0.699
2-2			130.99	3.387	100	0.700
2-3			136.75	3.345	100	0.674
2-4		139.03	3.346	100	0.711	
2-5		0.425	148.13	3.846	100	0.900
2-6			148.79	3.623	100	0.865
2-7			149.14	3.863	100	0.899
2-8		143.43	3.830	99	0.838	
2-9		140.98	3.759	99	0.856	
2-10	Cake D	2.0	121.09	3.188	100	0.722
2-11			114.89	3.027	100	0.659
2-12			115.30	2.988	100	0.647
2-13		0.425	205.32	5.515	98	1.365
2-14			207.75	5.500	100	1.359
2-15			208.32	5.515	100	1.442

$C_{c2}=0.92\sim 1.26$ , 水浸試験で  $C_{c2}=0.82\sim 1.04$  の範囲でそれほどほぼ一定値になっている. 20mm 試料では試料全体の初期状態が  $S_{r0}=36\sim 49\%$ ,  $w_0=56\sim 72\%$ ,  $e_0=3.88\sim 4.23$  で, 圧縮指数は  $C_{c1}=2.42\sim 4.25$ ,  $C_{c2}=0.64\sim 0.74$  の範囲にあり, 5mm 試料とは違った傾向が現れている.

## 4.2 圧縮量～時間曲線

Fig.2(a), (b)はそれぞれ攪乱試料, 練返し試料の圧縮量～

Table 3(c) 試験概要 (圧縮試料, 載荷①)

No.	試料径 非水浸 or水浸	試料 作成 圧力 ( $\text{kN/m}^2$ )	初期 含水比 $w_0$ (%)	初期 間隙比 $e_0$	初期 飽和度 $S_{r0}$ (%)	圧縮 指数 $C_c$
3-1	5mm 非水浸	157	71.43	4.696	40	0.958
3-2			71.68	4.358	43	1.016
3-3			71.30	4.584	41	0.874
3-4		314	63.90	4.891	35	0.872
3-5			64.41	4.397	39	0.907
3-6			64.94	4.036	42	0.895
3-7		628	56.41	3.773	39	0.901
3-8			57.20	4.621	33	0.916
3-9			56.93	4.863	31	0.962
3-10	5mm 水浸	157	72.68	5.027	38	0.908
3-11			70.10	5.285	35	0.854
3-12			74.55	5.440	36	0.855
3-13		314	65.48	5.033	34	0.861
3-14			66.70	4.283	41	0.936
3-15			57.48	4.235	36	0.901
3-16		628	60.65	3.860	41	0.823
3-17			59.42	4.871	32	0.934
3-18			59.36	4.333	36	0.880

Table 3(d) 試験概要 (圧縮試料, 載荷②)

No.	試料径 非水浸 or水浸	試料 作成 圧力 $p_c$ ( $\text{kN/m}^2$ )	初期 含水比 $w_0$ (%)	初期 間隙比 $e_0$	初期 粒体 間隙比 $e_{c0}$	初期 空隙比 $e_{v0}$	初期 見かけ 空隙比 $e_{a0}$	初期 飽和度 $S_{r0}$ (%)	圧縮 指数 $C_{c1}$	圧縮 指数 $C_{c2}$	$p_{c1}$ ( $\text{kN/m}^2$ )	$p_{c2}$ ( $\text{kN/m}^2$ )	
4-1	5mm 非水浸	157	72.29	5.474	1.909	3.565	1.226	35	2.680	1.123	5.5	64.0	
4-2			72.01	5.011	1.902	3.109	1.071	38	2.208	1.099	5.0	24.0	
4-3			71.88	4.172	1.898	2.274	0.784	46	1.895	0.986	6.2	22.0	
4-4			70.54	5.188	1.863	3.325	1.162	36	2.312	1.098	8.0	90.0	
4-5			68.07	4.029	1.798	2.231	0.797	45	1.715	0.918	5.0	19.0	
4-6			68.84	4.020	1.818	2.202	0.781	45	1.525	0.978	5.9	14.0	
4-7			72.89	4.847	1.925	2.922	0.999	40	2.166	1.040	6.5	62.0	
4-8		72.27	4.771	1.909	2.862	0.984	40	2.016	1.058	6.0	66.0		
4-9		314	66.72	4.484	1.762	2.722	0.985	39	1.912	0.959	7.0	99.0	
4-10			64.22	4.642	1.696	2.946	1.093	37	2.021	1.055	8.3	110.0	
4-11			628	55.57	4.537	1.468	3.069	1.244	32	1.933	1.146	10.0	180.0
4-12				55.03	4.499	1.453	3.046	1.241	32	1.840	1.046	11.0	170.0
4-13				52.70	4.182	1.392	2.790	1.167	33	1.731	1.119	14.0	220.0
4-14			50.87	4.483	1.343	3.140	1.283	30	1.877	1.262	12.0	240.0	
4-15	5mm 水浸		157	69.60	4.252	1.838	2.414	0.850	43	2.114	0.995	2.4	8.0
4-16		69.67		4.594	1.840	2.754	0.969	40	2.563	0.945	2.9	8.1	
4-17		314	68.61	4.650	1.812	2.838	1.009	39	2.702	0.798	1.3	10.0	
4-18			62.59	3.503	1.653	1.850	0.697	47	1.145	0.817	3.3	7.2	
4-19			62.60	4.694	1.653	3.041	1.146	35	2.624	0.857	2.7	8.3	
4-20		628	53.97	4.096	1.425	2.671	1.101	35	1.880	0.958	4.5	8.0	
4-21			58.87	4.432	1.555	2.877	1.126	35	2.185	0.825	3.1	10.0	
4-22			55.71	3.738	1.471	2.267	0.917	39	1.229	0.834	2.9	7.6	
4-23			54.01	4.593	1.426	3.167	1.305	31	2.885	0.828	3.1	7.0	
4-24			56.37	3.879	1.489	2.390	0.960	38	1.538	0.816	3.0	8.2	
5-1	20mm 水浸	314	65.32	4.226	1.725	2.501	0.918	41	3.976	0.739	3.0	7.0	
5-2			65.05	4.007	1.718	2.289	0.842	43	2.632	0.670	3.3	7.2	
5-3		628	64.48	4.048	1.703	2.345	0.868	42	3.327	0.656	3.2	6.3	
5-4			56.07	4.136	1.481	2.655	1.070	36	4.251	0.638	2.9	6.8	

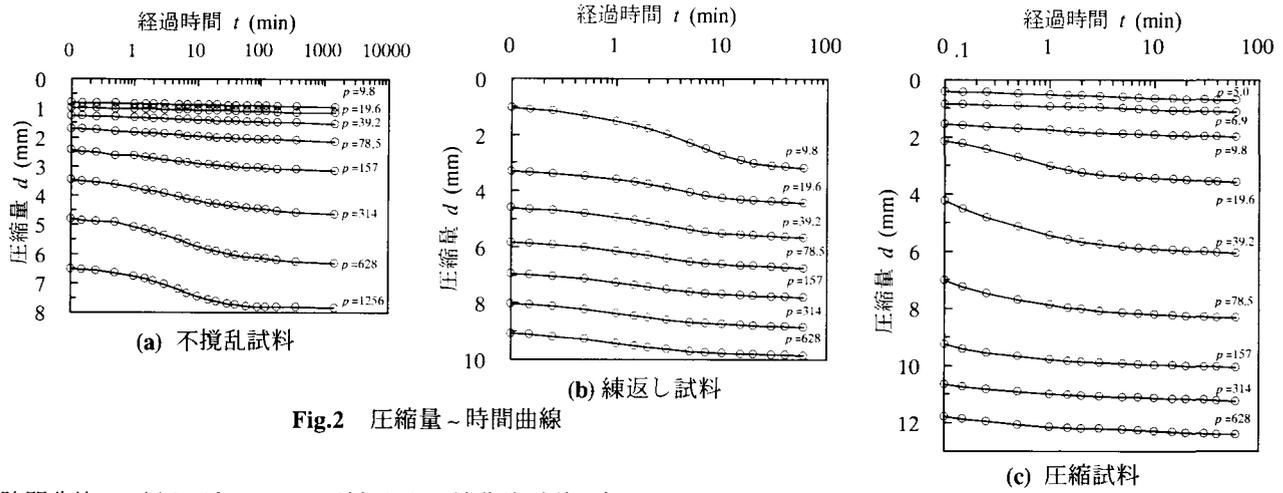


Fig.2 圧縮量～時間曲線

時間曲線の1例を示している。どちらも圧縮曲線が逆S字形を描き、圧縮が収束するまでの時間は Fig.2(a) の不攪乱試料で30分~2時間、Fig.2(b) の練返し試料で20~30分である。Fig.2(c) は圧縮試料の圧縮量～時間曲線の1例を示している。 載荷直後の瞬時圧縮の後、圧縮は5~10分ではほぼ収束するため、1段階の載荷時間は1時間とした。

圧縮試料の圧縮量は攪乱試料、練返し試料よりも大きく、圧縮が収束する時間は最も短い。

### 4.3 間隙比 $e$ と圧縮圧力 $p$ の関係

#### 4.3.1 自然地盤、不攪乱試料、練返し試料の $e$ - $\log p$ 曲線

Fig.3(a)~(c)に初期含水比 $w_0$ をパラメータにして、自然地盤、不攪乱試料、練返し試料の代表的な $e$ - $\log p$ 曲線を示している。 Fig.3(a)は周辺自然地盤の既往資料(岡山海岸保全児島湾周辺農業水利事業所, 1988)による $e$ - $\log p$ 曲線であり、Fig.3(b), (c)は試験結果による $e$ - $\log p$ 曲線である。(1)自然地盤: Fig.3(a)は自然地盤の既往の圧密試験結果から、児島湖沿岸部沖積粘土の $e$ - $\log p$ 曲線を示している。自然地盤では $p$ が小さい領域では勾配が小さく、圧密降伏力 $p_c$ を境に勾配が急増して一定勾配になり、過圧密領域と正規圧密領域に区分できる通常の軽い過圧密粘土の圧密特

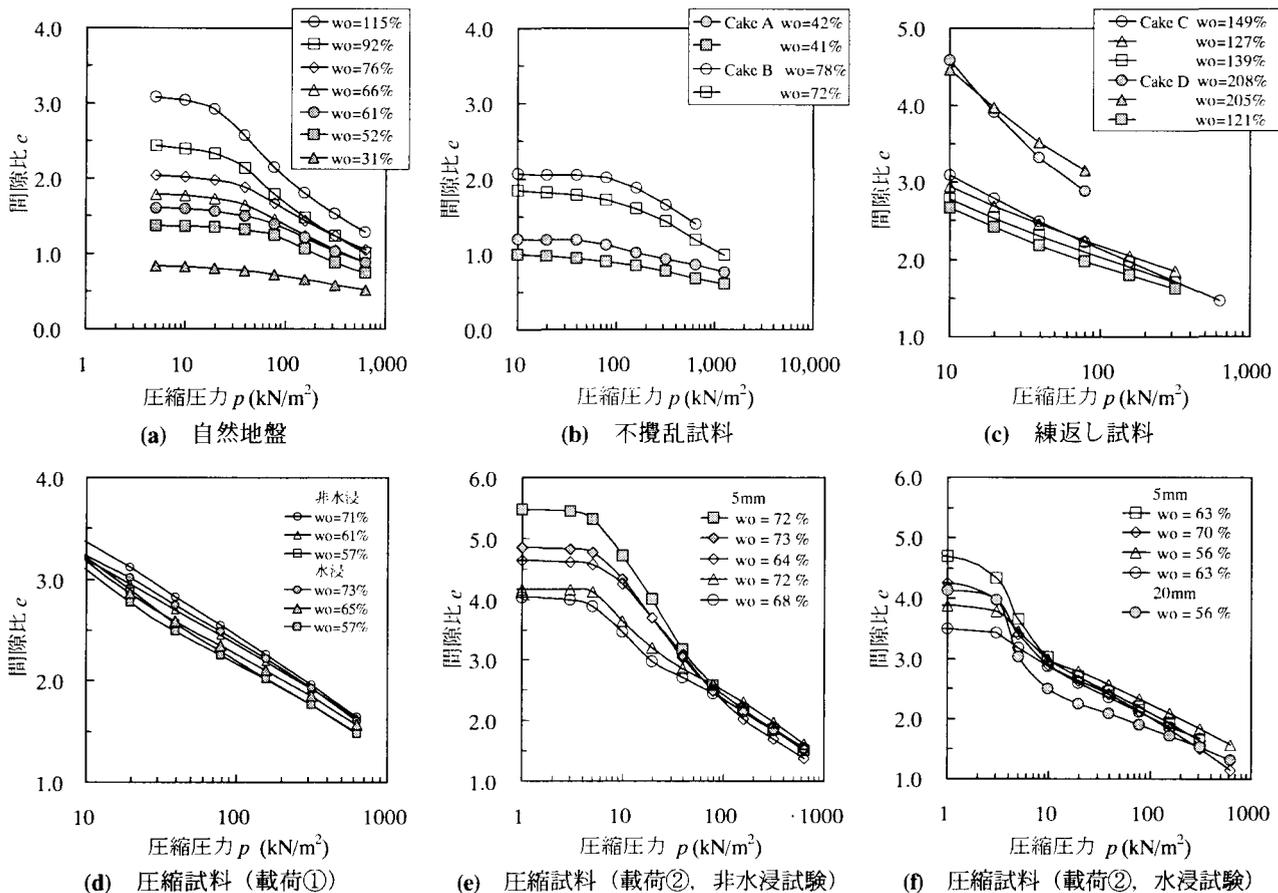


Fig.3  $e$ - $\log p$ 曲線

性を示している。正規圧密領域の $e\sim\log p$ 曲線の勾配が圧縮指数 $C_c$ である。Fig.3(a)から、 $w_0$ あるいは初期間隙比 $e_0$ が大きいほど $C_c$ が大きくなる傾向が見られる。

(2)不攪乱試料: Fig.3(b)は不攪乱試料の試験結果を示している。不攪乱試料の $e\sim\log p$ 曲線は自然地盤と同様に、 $p_c$ を境に勾配が急変し、通常の軽い過圧密粘土の圧密特性を表している。自然地盤と同様に、 $w_0$ あるいは $e_0$ が大きいほど $C_c$ が大きくなる傾向が見られる。

(3)練返し試料: Fig.3(c)は練返し試料の試験結果を示している。練返し試料では、 $e\sim\log p$ 曲線が全領域でほぼ直線になり、通常の正規圧密粘土の圧密特性を表している。自然地盤、不攪乱試料と同様に、 $w_0$ あるいは $e_0$ が大きいほど $C_c$ が大きくなる傾向がうかがえる。

4.3.2 圧縮試料の $e\sim\log p$ 曲線および $p_{c1}, p_{c2}, C_{c1}, C_{c2}$

Fig.3(d)~(f)に、試験結果による代表的な圧縮試料の $e\sim\log p$ 曲線を初期含水比 $w_0$ をパラメータにして示している。

(1)圧縮試料(荷重①): Fig.3(d)は圧縮試料の荷重①での非水浸試験と水浸試験の結果を示している。非水浸試験、水浸試験のどちらもFig.3(c)の練返し試料と同様に $e\sim\log p$ 曲線が全領域でほぼ直線になる。 $w_0=56\sim75\%$ 、 $e_0=3.77\sim5.44$ と初期条件に幅があるにも関わらず、 $C_c$ はほぼ一定である。

(2)圧縮試料(荷重②): Fig.3(e)は圧縮試料の荷重②での非水浸試験、Fig.3(f)は水浸試験の結果を示している。非水浸試験では $e\sim\log p$ 曲線に2ヶ所の変曲点が明確に現われ、第1変曲点までは変形量が小さいが、第1変曲点から第2変曲点までは勾配が大きく、第2変曲点以降は比較的小さな勾配になる。水浸試験では $e\sim\log p$ 曲線全体がやや逆S字形の曲線になるが、非水浸試験と同様に2ヶ所の変曲点が現れる。

(3)圧縮試料の $p_{c1}, p_{c2}, C_{c1}, C_{c2}$ の定義

圧縮試料の荷重②での第1変曲点に対応する圧縮圧力は、通常の軽い過圧密粘土の圧密降伏応力 $p_c$ (土質工学会編, 1990c)、締固めた土の先行圧縮応力値 $p_0$ (伊勢田・水野, 1971)に類似し、ここでは $p_{c1}$ と定義する。また、第2変曲点に対応する圧縮圧力を $p_{c2}$ とする。圧縮圧力( $p$ )が $p_{c1}$ を超

えると $p_{c2}$ までは勾配が大きく、 $p_{c2}$ を超えると比較的小さな勾配になり、これらを模式的にFig.4に図示している。 $p_{c1}$ はキャサグランデの図解法(土質工学会, 1990 b)により求め、 $p_{c2}$ は前後の直線の交点として求めた。 $e\sim\log p$ 曲線の勾配が圧縮指数であり、 $p_{c1}<p<p_{c2}$ の領域の圧縮指数を $C_{c1}$ 、 $p>p_{c2}$ の領域の圧縮指数を $C_{c2}$ とする。Fig.3(e)とFig.3(f)から非水浸試験と水浸試験のそれぞれで、 $w_0$ あるいは $e_0$ が大きいほど $C_{c1}$ が大きくなる傾向が見られる。 $C_{c2}$ はほぼ一定値である。

$e\sim\log p$ 曲線に2ヶ所の変曲点があるのは、 $p$ が大きくなって $p_{c1}$ を超えると圧縮試料粒体の形状が変形し始めて粒体間の空隙構造が急激に潰れ、 $p$ が $p_{c2}$ を超えると粒体の形状が消滅することによると考えられる。これは構造を持つ粘土の $e\sim\log p$ 曲線が、 $p$ が $p_c$ を超えた直後に急勾配になり、その後構造の消滅により一定勾配に収束する(Tsuchida, et al., 1991; 土田ら, 1993)ことと類似している。

4.3.3 圧縮試料の非水浸試験と水浸試験の比較

圧縮試料の荷重①では非水浸試験と水浸試験の結果に違いが見られなかったが、荷重②での非水浸試験と水浸試験の結果を比較してFig.5に示している。図に見られるように、水浸試験の $p_{c1}, p_{c2}$ が非水浸試験結果よりも小さく、 $C_{c1}$ は水浸試験が非水浸試験よりも大きい。この理由として、水浸試験では圧縮試料粒体が水分を吸収して個々の土粒子の間隔が広がり、粒子間結合力が低下して変形し易くなることが考えられる。 $C_{c2}$ は水浸試験でも非水浸試験でもほぼ同じである。これは $p>p_{c2}$ の領域では粒体の形状が消滅して連続体化し、粒体としての性質の差異が失われるからであると考えられる。

4.3.4 試料ごとの $e\sim\log p$ 曲線の比較

Fig.3(f)から、水浸試験の20mm試料では5mm試料と同じオーダーの値の $p_{c1}, p_{c2}$ が見られるが、 $C_{c1}$ は20mm試料が5mm試料よりも大きく、粒径の違いによる特徴が見られる。

試料ごと、試験ごとの $e\sim\log p$ 曲線の代表例を比較してFig.6に示す。Fig.6に見られるように、圧縮試料の荷重②の $p>p_{c2}$ の領域での曲線が荷重①の曲線とほとんど一致する。一致しない区間は非水浸試験の比較的小さい $p$ の領域

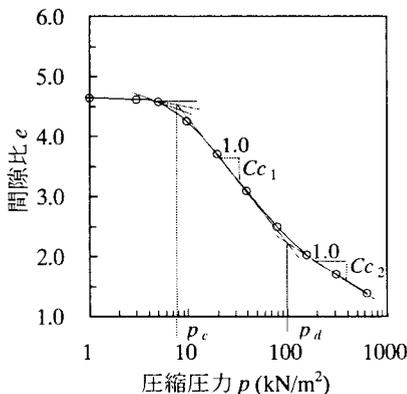


Fig.4 圧縮試料の $p_{c1}$ と $p_{c2}$ の定義

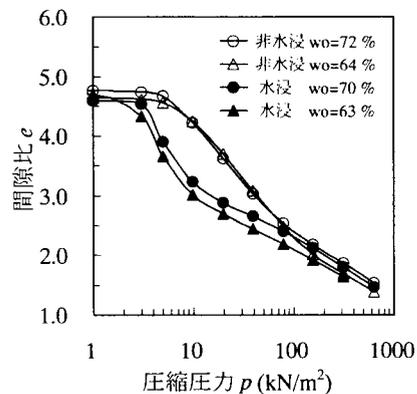


Fig.5 圧縮試料の非水浸試験と水浸試験(全段階荷重)

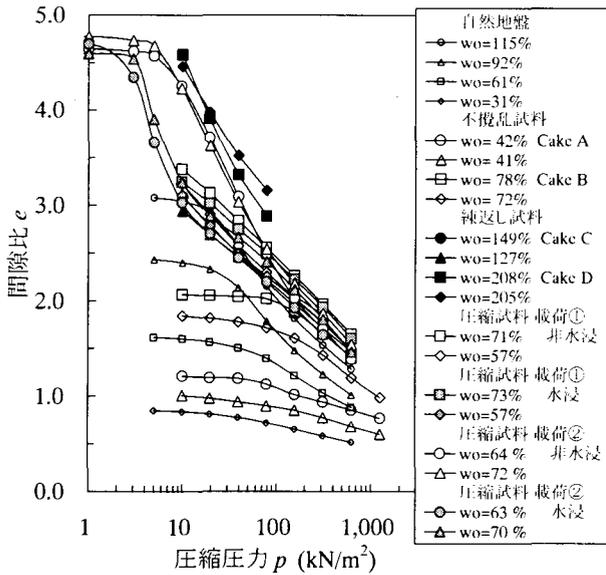


Fig.6 試験ごとの $e$ - $\log p$ 曲線の比較

であり、荷重②の曲線が上向きに凸の形状になる。圧密試験では荷重増分の間隔を小さくすると $e$ - $\log p$ 曲線が上方にずれて圧密降伏応力が大きくなるということが知られている(土質工学会, 1990c)。圧縮圧力を1, 3, 5, 9.8kN/m<sup>2</sup>と増加させた荷重②と、最初に9.8kN/m<sup>2</sup>を荷重した荷重①の曲線のずれは、荷重増分の間隔の違いによる曲線のずれに相当するものであると考えられる。

また、練返し試料の曲線が、 $w_0$ が極端に大きい( $w_0 > 200\%$ ) 試料を除いて、圧縮試料の $p > p_c$ の領域での曲線とほとんど一致する。これは、圧縮試料の $p > p_c$ の領域では初期の粒状体の形状の影響が失われ、脱水ケーキとして整形される以前の本래の粘性土としての圧縮特性が現れていることによると考えられる。

4.4  $e$ - $\log p$ 曲線の変曲点

4.4.1 自然地盤と不攪乱試料の圧密降伏応力 $p_c$

(1)自然地盤: Fig.7(a)~(c)は前掲の自然地盤の圧密降伏応力 $p_c$ と地盤深さ $H$ 、初期含水比 $w_0$ 、初期間隙比 $e_0$ との関係をそれぞれ示している。Fig.7(a)から、ばらつきがやや大きい、 $H$ に比例して $p_c$ が大きくなることが判る。図示している回帰式は単位体積重量 $\gamma = 7\text{kN/m}^3$ の地盤の土被り圧を表わしており、この $\gamma$ の値は周辺の地盤の水中重量として妥当である。地質学的に若い正規粘土の $p_c$ が先行圧密応力にほぼ等しいことが一般に知られており(土質工学会, 1982)、この自然地盤も通常の正規粘土の性質を表している。Fig.7(b), (c)から、 $w_0$ 、 $e_0$ が大きいほど $p_c$ が大きくなる傾向がややうかがえるが、相関は非常に低い。

(2)不攪乱試料: $p_c$ は現地で脱水ケーキに整形された時に与えられた先行圧力に相当する値を採るはずであるが、その圧力は確認できない。自然地盤と同様に、Fig.8(a)に不攪乱試料の $p_c$ と $w_0$ の関係を、Fig.8(b)に $p_c$ と $e_0$ の関係をそれ

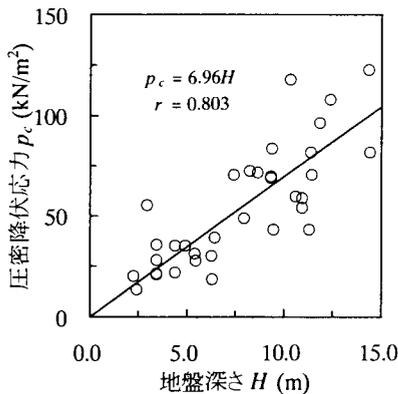


Fig.7(a) 自然地盤の $p_c$ - $H$ 関係

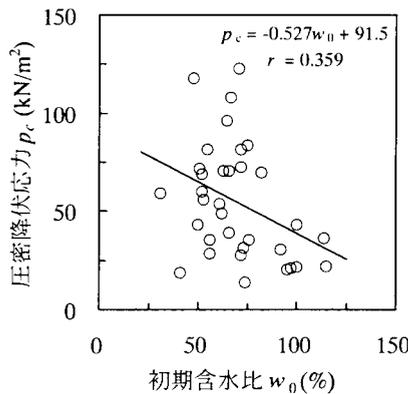


Fig.7(b) 自然地盤の $p_c$ - $w_0$ 関係

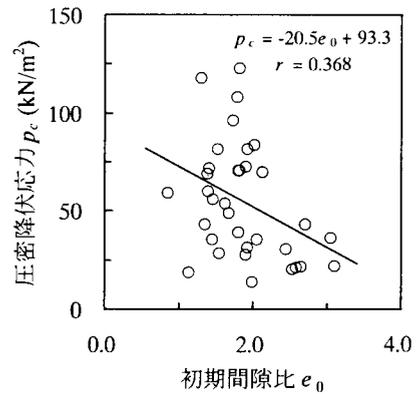


Fig.7(c) 自然地盤の $p_c$ - $e_0$ 関係

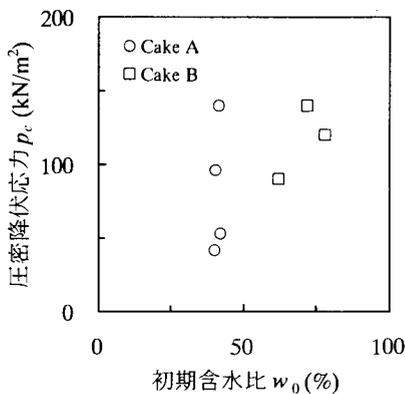


Fig.8(a) 不攪乱試料の $p_c$ - $w_0$ 関係

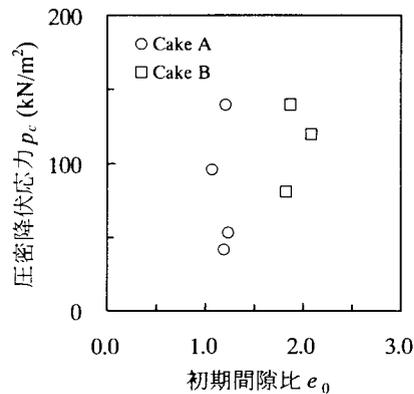


Fig.8(b) 不攪乱試料の $p_c$ - $e_0$ 関係

ぞれ示している。試料数が少ないこともあり、 $p_c$ には $w_0, e_0$ との関連は認められない。

4.4.2 圧縮試料の $p_{c1}, p_{c2}$ と試料作成圧力 $p_s$ の関係

$p_{c1}$ は粒体の形状が大きく変形し始める圧縮圧力、 $p_{c2}$ は粒体の形状が消滅する圧縮圧力であると推測され、共に試験供試体全体の圧縮強さを表わしているといえる。試料作成時の静的な圧縮も締固めの一環であり、試料作成圧力に着目して、Fig.9(a),(b)にそれぞれ、5mm試料の $p_{c1}$ と $p_s$ の関係、 $p_{c2}$ と $p_s$ の関係を示している。非水浸試験では $p_{c1}$ が5~14kN/m<sup>2</sup>、 $p_{c2}$ が14~240kN/m<sup>2</sup>と広い範囲の値をとるのに対し、水浸試験ではほぼ一定値を示し、 $p_{c1}$ が3kN/m<sup>2</sup>程度、 $p_{c2}$ が8kN/m<sup>2</sup>程度である。

Fig.9(a),(b)に見られるように、非水浸試験では $p_s$ と $p_{c1}, p_{c2}$ に直線相関関係が認められ、 $p_s$ が大きいほど $p_{c1}, p_{c2}$ が大きくなる。このことから、試料作成時に与えた圧縮圧力が、非水浸状態では粒体の変形し始めて形状が失われるまで大きく影響していることが判る。非水浸状態の $p_{c1}, p_{c2}$ が $p_s$ と関連するのは、通常の軽い過圧密粘土の $p_c$ 、あるいは締固めた土の $p_0$ が先行して与えられた荷重に相当することと類似している。 $p_{c1}, p_{c2}$ は $p_s$ と比べて、 $p_{c1}/p_s$ が1/50~1/20、 $p_{c2}/p_s$ が1/10~1/2程度と非常に小さい。これは、 $p_s$ が供試体全体ではなく粒体単体に与えられた先行荷重であり、供試体が空隙を含んだ粒体の集合体で構成されていることによる。

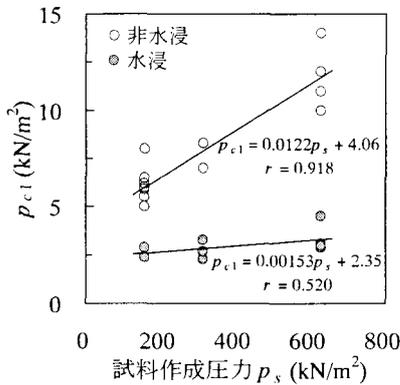


Fig.9(a)  $p_{c1} \sim p_s$  関係 (5mm 試料)

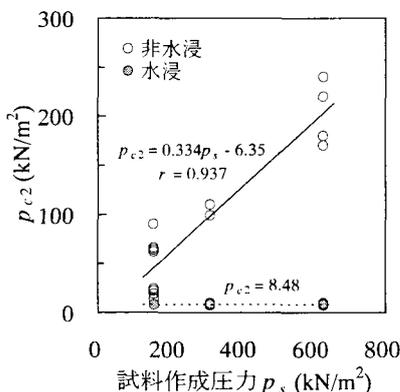


Fig.9(b)  $p_{c2} \sim p_s$  関係 (5mm 試料)

一方、水浸試験では非水浸試験に比べて $p_{c1}, p_{c2}$ が非常に小さくて、ほぼ一定値を示す。 $p_s$ が大きいほど $p_{c1}$ が大きくなる傾向はあるが相関係数は小さく、 $p_{c2}$ はほとんど一定値である。このことから、水浸状態では粒体の変形し始める時点ではまだ試料作成時の影響が残っているが、形状が消滅する時点ではその影響が失われているといえる。これは前述のように、粒体が水分を吸収して個々の土粒子の間隔が広がり、粒子間結合力が低下して粒体の変形し易くなり、初期状態の影響が失われることによると考えられる。

4.4.3 圧縮試料の $p_{c1}, p_{c2}$ と初期状態 $e_0, e_{c0}, e_{v0}, e_{A0}$ の関係

不攪乱試料と同様に試料の初期状態に着目して、 $p_{c1}, p_{c2}$ と初期含水比 $w_0$ 、初期間隙比 $e_0$ 、初期粒体間隙比 $e_{c0}$ 、初期空隙比 $e_{v0}$ 、初期見かけ空隙比 $e_{A0}$ のそれぞれの関係をFig.10(a)~(e)、Fig.11(a)~(e)に示している。

(1) 非水浸試験：Fig.10(a)~(e)、Fig.11(a)~(e)から、非水浸試験では $p_{c1}, p_{c2}$ はどちらも $e_0, e_{v0}$ とは際立った関連は見られないが、 $w_0, e_{c0}$ と直線相関関係があり $w_0, e_{c0}$ が小さいほど $p_{c1}, p_{c2}$ が大きく、相関係数も非常に大きい。粒体は飽和状態にあるので $w_0$ は $e_{c0}$ と同義である。このことから、粒体間の空隙よりも粒体内の空隙が $p_{c1}, p_{c2}$ に対して支配的であることが判る。これは供試体全体に与えられる圧縮圧力を粒体が受け持って支えているからであり、 $e_{c0}$ が小さいほど粒体の圧縮強さが大きく、粒体の初期状態の影響が $p_{c2}$ の圧力領域まで及んでいるといえる。これはFig.9(a),(b)に見られた、 $p_{c1}, p_{c2}$ が $p_s$ と相関が高いことに対応している。 $e_{A0}$ が大きいほど $p_{c1}, p_{c2}$ が大きくなる傾向も見られるが、これは式(4)から判るように、 $e_{c0}$ が小さいほど $e_{A0}$ が大きくなることに起因していると考えられる。

(2) 水浸試験：Fig.10(a)~(e)、Fig.11(a)~(e)から水浸試験でも、 $w_0, e_{c0}$ が大きいほど $p_{c1}$ が小さくなる傾向が見られるが、相関が低い。非水浸試験の場合と同様に $w_0$ は $e_{c0}$ と同義である。また、 $p_{c2}$ には $w_0, e_0, e_{c0}, e_{A0}, e_{v0}$ との関連は見られない。このことは、 $p_{c1}$ 近傍の圧力領域では粒体の初期状態である $w_0, e_{c0}$ の影響が試料に残っているが、 $p_{c2}$ 近傍の圧力領域では初期状態の影響が失われていることを意味している。これはFig.9(a),(b)に見られた、水浸試験では $p_{c1}$ と $p_s$ の相関が比較的低く、 $p_{c2}$ と $p_s$ の相関がないことと一致する。5mm試料と20mm試料を比較しても、 $p_{c1}, p_{c2}$ には粒径による相違は見られない。

4.5 圧縮指数

4.5.1 自然地盤、不攪乱試料、練返し試料の圧縮指数

(1) 自然地盤：Fig.12(a)とFig.12(b)は前述の既往資料による児島湖沿岸部の自然地盤の $C_c \sim w_0$ 関係と $C_c \sim e_0$ 関係を示している。自然地盤の $C_c \sim w_0$ 関係、 $C_c \sim e_0$ 関係には良い直線相関関係がみられ、 $w_0$ あるいは $e_0$ が大きいほど $C_c$ が大きい。粘性土の圧縮指数と初期状態の相関関係については以前から多くの報告があり、Fig.12(b)に小川・松本(1978)による、

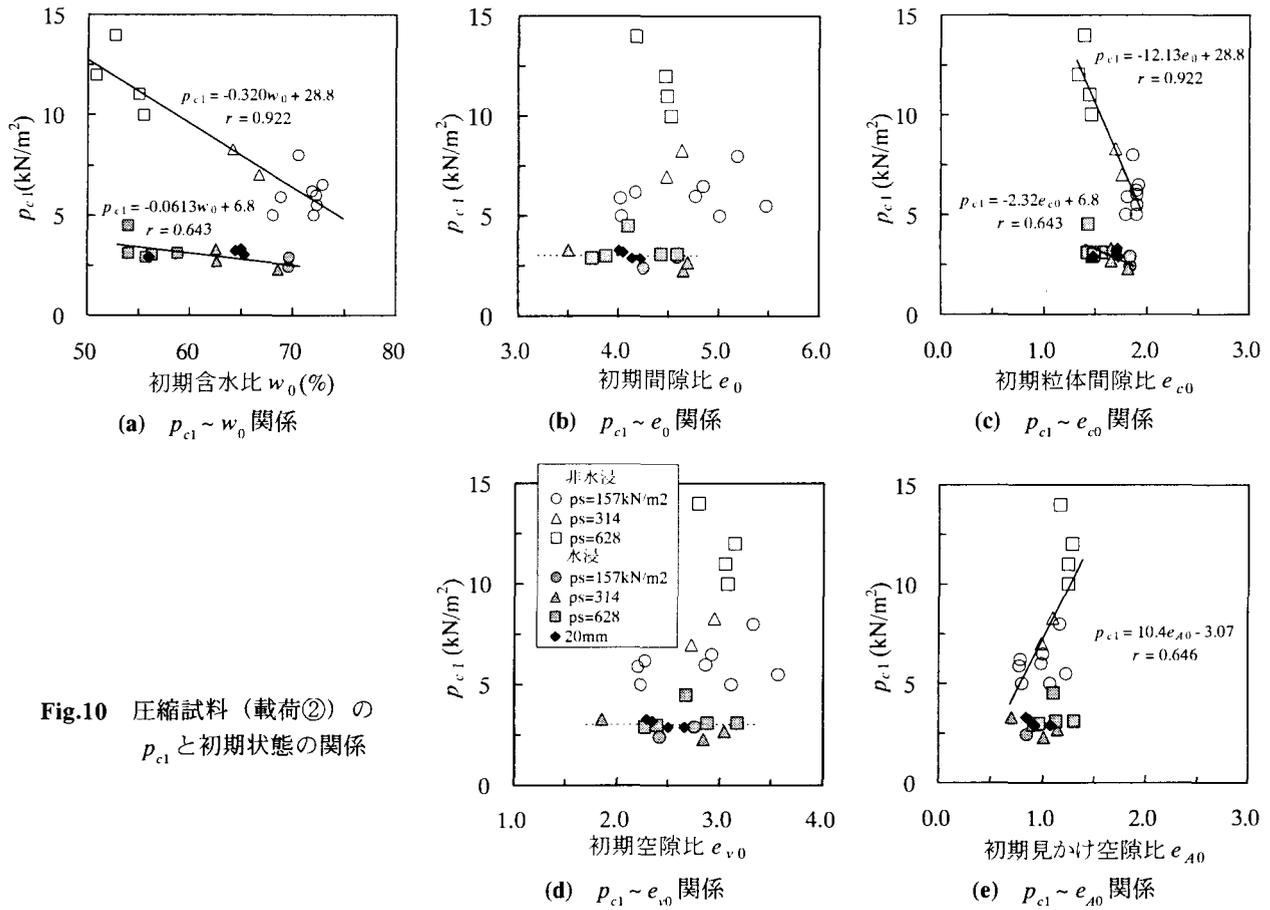


Fig.10 圧縮試料 (載荷②) の  $p_{c1}$  と初期状態の関係

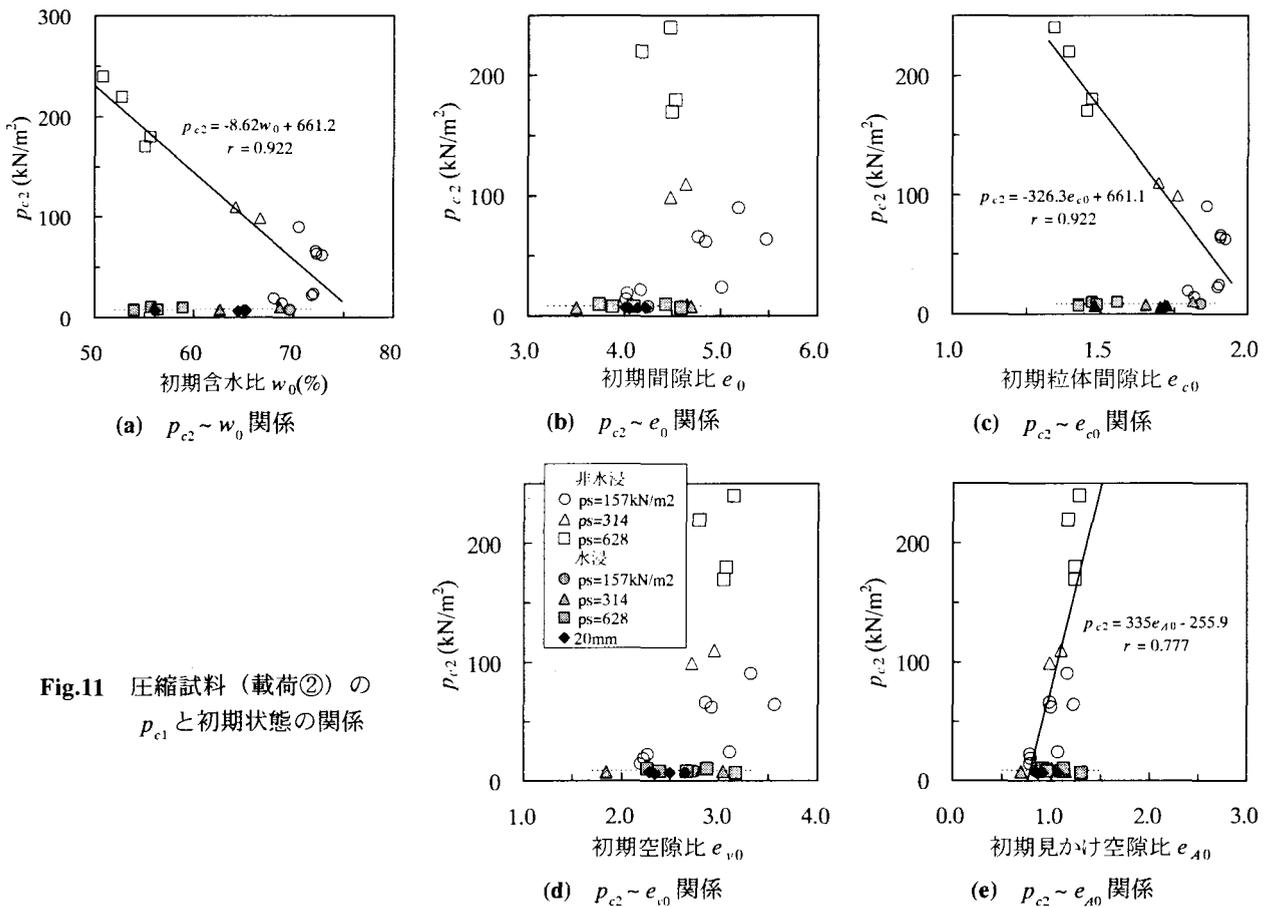


Fig.11 圧縮試料 (載荷②) の  $p_{c1}$  と初期状態の関係

北海道・沖縄を除く全国の港湾地域の574試料からの回帰直線を付記している。自然地盤の回帰直線は小川・松本の回帰直線と同じ傾向にあり、自然地盤は通常の粘性土の圧縮特性を示している。

(2) 不攪乱試料: Fig.13(a)とFig.13(b)は不攪乱試料の $C_c \sim w_0$ 関係と $C_c \sim e_0$ 関係を示している。不攪乱試料の $C_c \sim w_0$ 関係、 $C_c \sim e_0$ 関係にも良い直線相関関係がみられ、試料がCake AとCake Bの2種類のケーキを基にしているにも関わらず、同一の回帰式で近似できる。

(3) 練返し試料: Fig.14(a)とFig.14(b)は練返し試料の $C_c \sim w_0$ 関係と $C_c \sim e_0$ 関係を示している。練返し試料の $C_c \sim w_0$ 関係、 $C_c \sim e_0$ 関係にも良い直線相関関係がみられる。試料作成に当たってCake CとCake Dの2種類のケーキを基にし、裏ごしフルイ目を2mmと0.425mmの2種類にしているにも関わらず、同一の回帰式で近似できる。

4.5.2 圧縮試料の圧縮指数

(1) 圧縮試料 (荷重①): Fig.15(a)~(e)は圧縮試料の荷重①での $C_c$ と $w_0, e_0, e_{c0}, e_{v0}, e_{A0}$ とのそれぞれの関係を示している。 $w_0=56\sim75\%$ ,  $e_0=3.77\sim5.44$ と初期条件に幅があるにも関わらず $C_c$ はほぼ一定値を示し、 $C_c$ と $w_0, e_0, e_{c0}, e_{v0}, e_{A0}$ のそれぞれの関係には相関が見られない。初期条件に関わらず $C_c$ がほぼ一定値を示すのは、最初の荷重で既に粒体の形状が消滅して初期状態の影響が失われたことによると考えられる。非水浸試験と水浸試験の結果に差異は見られない。

(2) 圧縮試料 (荷重②): 圧縮試料の荷重②の $C_{c1}, C_{c2}$ と $w_0, e_0, e_{c0}, e_{v0}, e_{A0}$ のそれぞれの関係をFig.16(a)~(e)に示す。非水浸試験、水浸試験とも、 $C_{c1}$ と $e_0, e_{v0}$ に直線相関関係がみられ、 $e_0, e_{v0}$ が大きいほど $C_{c1}$ が大きい。このことから、 $p_{c1} < p < p_{c2}$ の領域の圧縮挙動が試料全体の初期状態と密接に関連していることが判る。また、 $e_0$ は $e_{c0}$ と $e_{v0}$ の合計であるが、 $e_0$ のうち粒体の初期状態である $e_{c0}$ ではなく、空隙の初期状態である $e_{v0}$ がより支配的であるといえる。水浸試験では非水浸試験よりも $C_{c1}$ と $e_{v0}$ の相関係数が大きく、 $C_{c1}$ と $e_{A0}$ の相関関係も良い。このことから、非水浸状態に比べて水浸状態の $C_{c1}$ が空隙の大きさの影響を大きく受けていることが判る。

$C_{c2}$ には試料の初期状態との関連はみられず、ほぼ一定値を示している。 $C_{c2}$ がほぼ一定値を示すのは、 $p > p_{c2}$ の領域では粒体の形状が消滅して初期状態の影響が失われていることによると考えられる。

20mm試料でも $C_{c1} \sim e_0$ 関係に良い直線相関関係がみられ、 $C_{c1}$ は5mm試料よりも大きく、 $C_{c2}$ は5mm試料よりもやや小さい傾向があり、粒径による相違が見られる。

4.5.3 試料ごとの圧縮指数の比較

Fig.17は試料ごとの $C_c \sim e_0$ 関係を比較して重ねて示している。不攪乱試料は浮遊土を含む自然堆積土に凝集剤を添加し圧縮して製造された脱水ケーキであるが、 $C_c \sim e_0$ 関係に周辺の自然地盤と類似した傾向がみられる。また、圧縮試

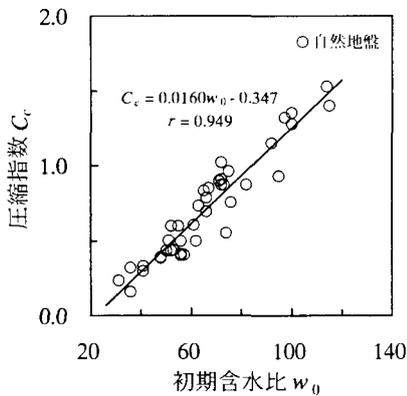


Fig.12(a) 自然地盤の $C_c \sim w_0$ 関係

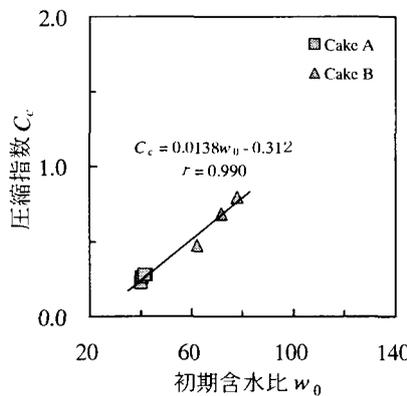


Fig.13(a) 未攪乱試料の $C_c \sim w_0$ 関係

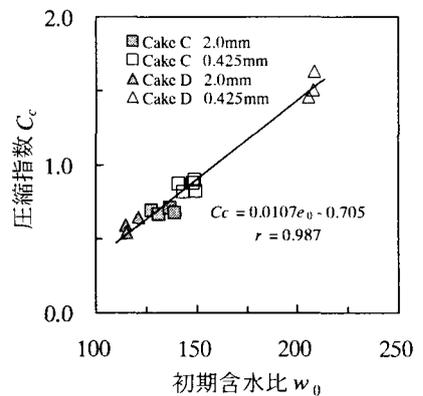


Fig.14(a) 練返し試料の $C_c \sim w_0$ 関係

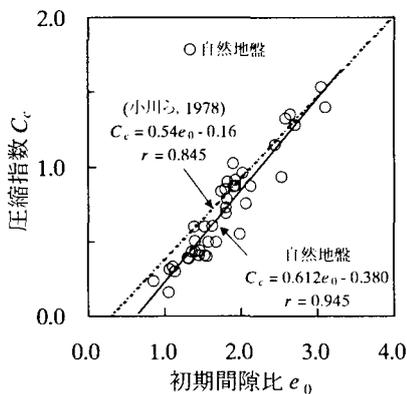


Fig.12(b) 自然地盤の $C_c \sim e_0$ 関係

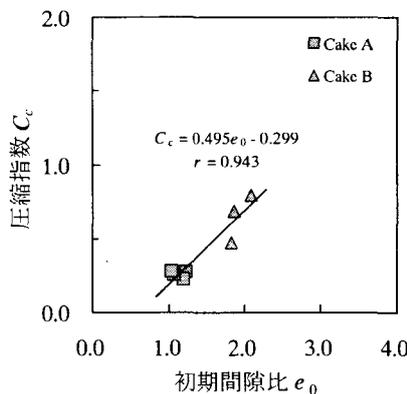


Fig.13(b) 未攪乱試料の $C_c \sim e_0$ 関係

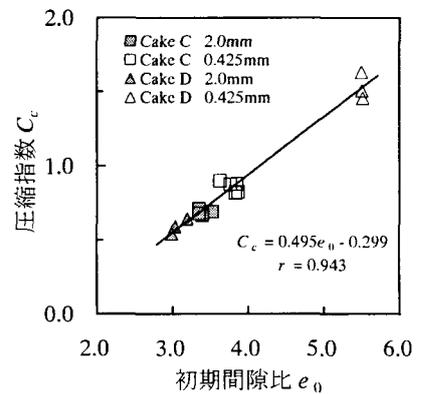
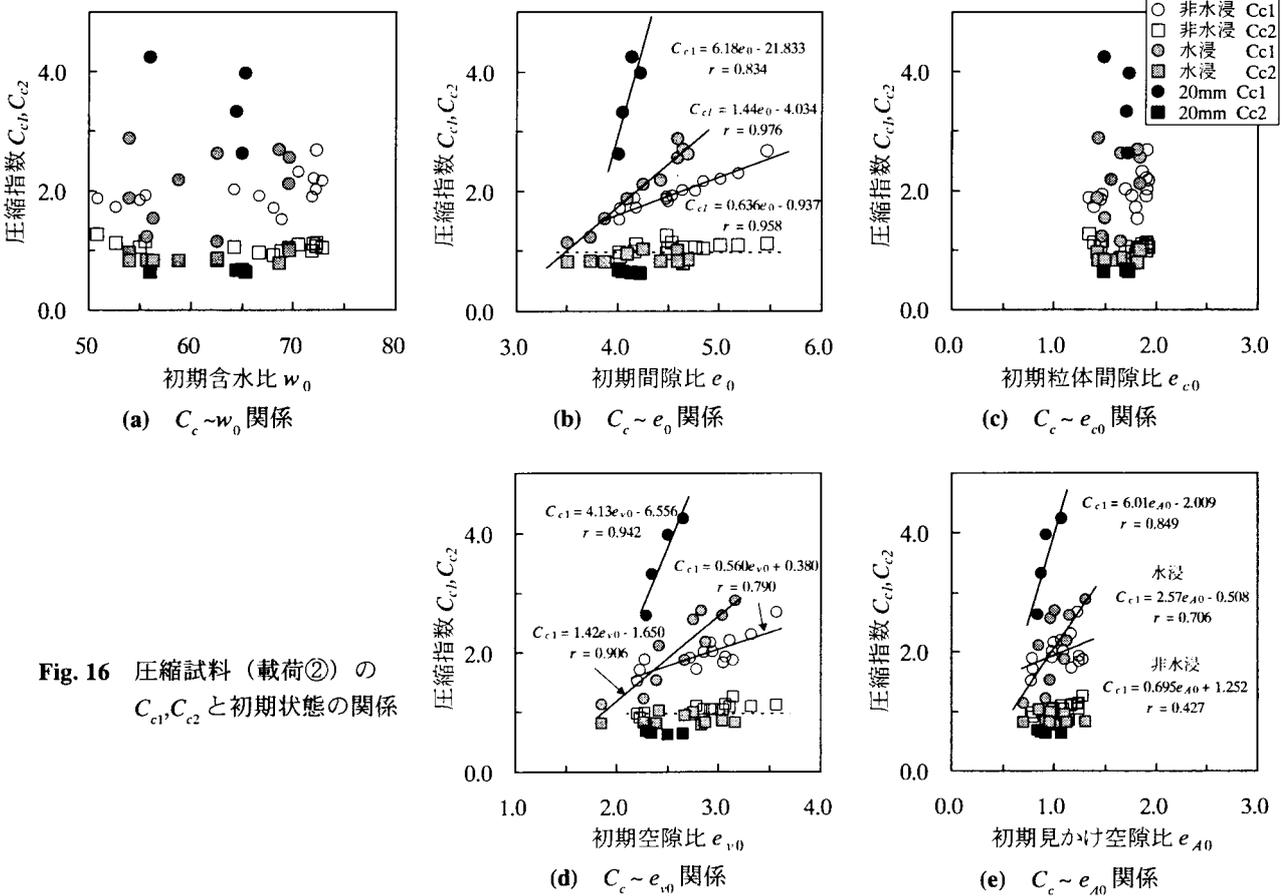
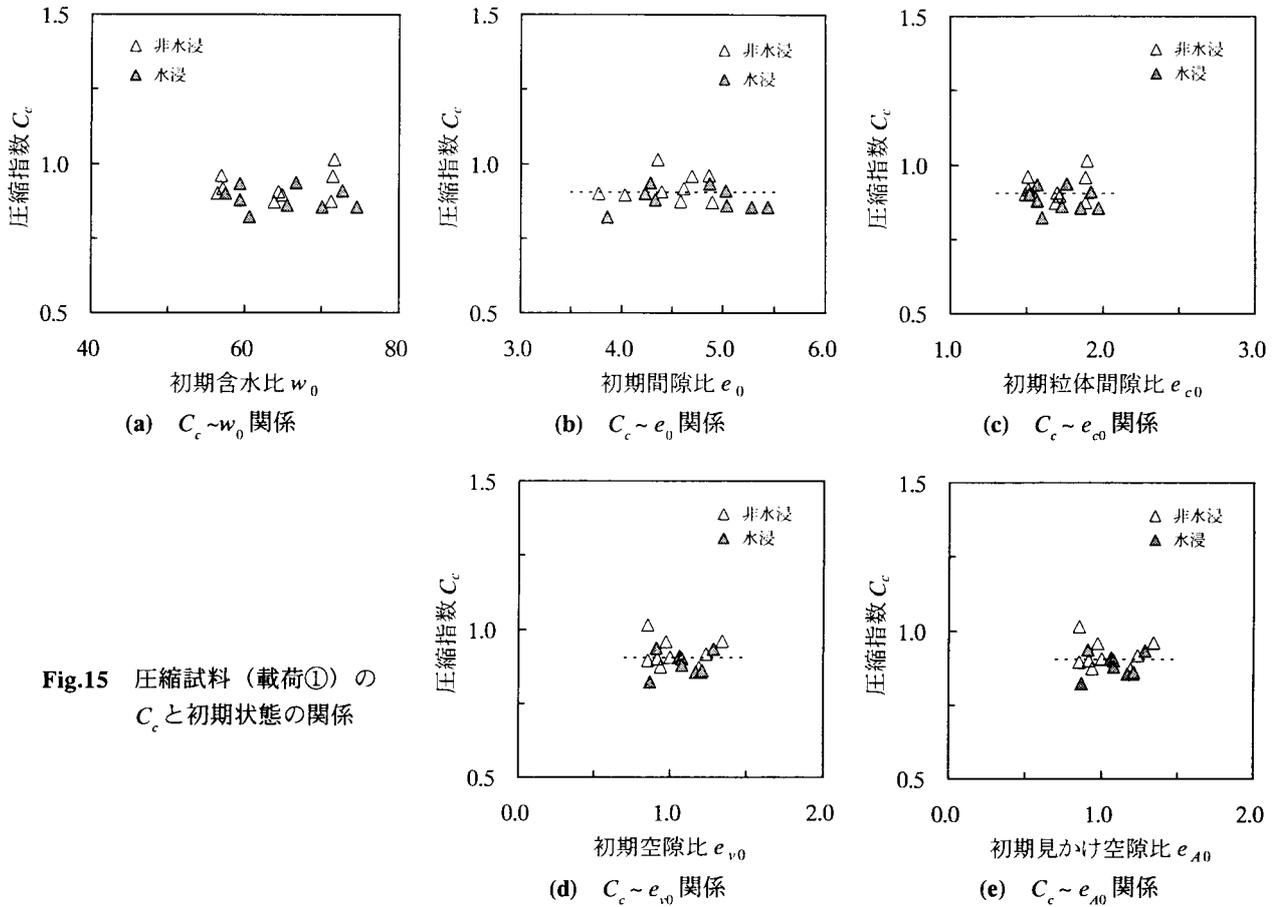


Fig.14(b) 練返し試料の $C_c \sim e_0$ 関係



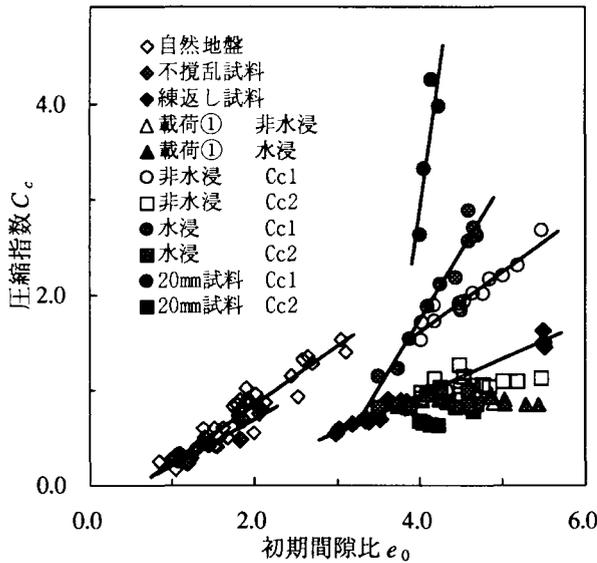


Fig. 17 圧縮指数と初期間隙比の関係の試料ごとの比較

料の荷重①による  $C_c$  と荷重②による  $C_{c2}$  は、どちらもほぼ同じ一定値を採る。練返し試料の  $C_c$  は、およそ  $e_0=3.5\sim 4.5$  の領域で圧縮試料の  $C_c$ ,  $C_{c2}$  やとほぼ一致し、練返し試料と圧縮試料には類似した傾向が部分的に見られる。

#### 4.6 体積圧縮係数

Fig.18に試料ごとの代表的な  $\log m_v$  (体積圧縮係数)  $\sim \log p$  関係を示している。

- (1) 自然地盤: 自然地盤の  $m_v$  は、過圧密領域では圧密圧力の増加に関わりなくほぼ一定値を採り、正規圧密領域では圧密圧力の増加に伴って減少する。
- (2) 不攪乱試料: 不攪乱試料の  $m_v$  は自然地盤と類似した挙動を示し、過圧密領域では圧密圧力の増加に関わりなくほぼ一定値を採り、正規圧密領域では圧密圧力の増加に伴って減少する。不攪乱試料は Cake A と Cake B の2種類の脱水ケーキから作成しているが、両者の  $\log m_v \sim \log p$  曲線に際立った差異は見られない。
- (3) 練返し試料: 練返し試料では  $\log m_v \sim \log p$  曲線が全領域でほぼ直線になる。試料作成に当たって Cake C と Cake D の2種類のケーキを基にし、裏ごしフルイ目に 2mm と 0.425 mm の2種類があるにも関わらず、すべての曲線がほとんど一致する。大きな圧密圧力の領域では、自然地盤と不攪乱試料の正規圧密領域の  $m_v$  と同じオーダーに近づいていく。
- (4) 圧縮試料 (荷重①): 圧縮試料の荷重①では、非水浸試験と水浸試験の  $\log m_v \sim \log p$  曲線に差異が見られず、最初の荷重以降の圧力領域ではほぼ同一の直線になる。練返し試料の曲線ともほとんど一致し、大きな圧密圧力の領域では、自然地盤と不攪乱試料の正規圧密領域の  $m_v$  とほぼ同じオーダーになる。
- (5) 圧縮試料 (荷重②): 圧縮試料の荷重②では、非水浸状

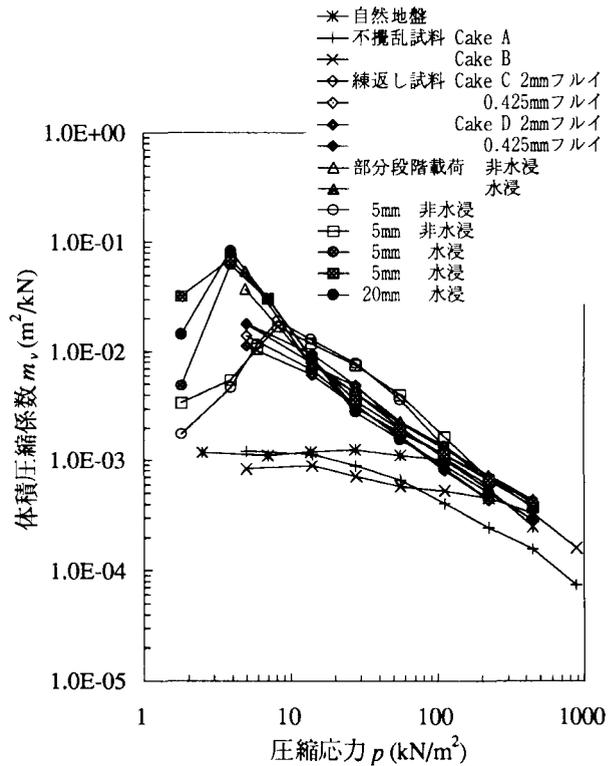


Fig. 18 体積圧縮係数と圧縮応力の関係の試料ごとの比較

態と水浸状態のどちらの  $\log m_v \sim \log p$  関係にも、他の試料・試験には現れない2ヶ所の変曲点がある。1番目の変曲点は非水浸状態と水浸状態の両者とも、 $m_v$  が最大値を採る点として、 $p_{c1}$  の近傍に明確に現れる。水浸状態の  $m_v$  の最大値は非水浸状態の  $m_v$  よりもほぼ1桁大きく、自然地盤と不攪乱試料の正規圧密領域の  $m_v$  よりも2桁大きい。水浸状態では非水浸状態に比べて小さな圧縮圧力で大きく変形することが、ここでも確認できる。2番目の変曲点は非水浸状態では上に凸、水浸状態では下に凸の形状で  $p_{c2}$  の近傍に現れ、その点での  $m_v$  は水浸状態よりも非水浸状態の方が比較的大きい。大きな圧力領域では非水浸状態と水浸状態の  $m_v$  はほぼ同じオーダーに収束する。

(6) 試料ごとの比較:  $\log m_v \sim \log p$  関係から、小さい圧縮圧力の領域では試料ごとの圧縮特性にそれぞれ特徴があるが、大きな圧力領域ではすべての試料の圧縮特性の差異が失われていくといえる。このことは、小さな圧縮圧力領域では脱水ケーキの圧縮特性が初期の形状や強度の影響を大きく受けるが、大きな圧力領域ではその影響から開放されることを意味している。また、脱水ケーキの圧縮特性が、土粒子密度、コンシステンシー限界といった一次的な性質の違いには関わらないといえる。

#### 5 まとめ

一連の一次元圧縮試験から得られた主な結果は次のとおりである。

- (1)不攪乱試料の $e\sim\log p$ 曲線に圧密降伏応力 $p_c$ が認められ、通常の軽い過圧密粘土と同様の圧縮特性が見られた。圧縮指数 $C_c$ には初期含水比 $w_0$ あるいは初期間隙比 $e_0$ との直線相関関係がある。
- (2)練返し試料の $e\sim\log p$ 曲線には通常の正規圧密粘土に近い圧縮特性が見られた。 $C_c$ には $w_0$ あるいは $e_0$ との直線相関関係がある。
- (3)圧縮試料の $e\sim\log p$ 曲線には2ヶ所の変曲点が認められ、圧縮挙動の特性を圧力領域で3区分できる。
- (4)圧縮試料の2ヶ所の変曲点に対応する圧縮圧力 $p_{c1}$ 、 $p_{c2}$ は、非水浸状態では試料作成圧力 $p_i$ 、あるいは初期粒体間隙比 $e_0$ と直線相関関係にあり、水浸状態ではほぼ一定値である。
- (5)圧縮試料の $p < p_{c1}$ の領域の圧縮性は非常に小さい。 $p_{c1} < p < p_{c2}$ の領域の圧縮性は大きく、粒体間空隙 $V_A$ の減少が試料の圧縮に支配的であると推測できる。 $p > p_{c2}$ の領域では正規圧密粘土化し、圧縮性は比較的小さい。
- (6)圧縮試料の $p_{c1} < p < p_{c2}$ の領域の圧縮指数 $C_{c1}$ は $e_0$ と直線相関関係がある。これは通常自然粘土に見られる傾向に類似している。 $p > p_{c2}$ の領域の圧縮指数 $C_{c2}$ はほぼ一定値を示す。これは粒状体の形状が消滅して初期状態の影響がなくなったことによると考えられる。
- (7)圧縮試料の水浸試験では非水浸試験に比べて、 $C_{c1}$ が大きく、 $p_{c1}$ と $p_{c2}$ が小さい。これは、試料本体が水分を吸収して個々の土粒子の間隔が広がり、粒子間結合力が低下することにより粒状体の形状が壊れ易くなり、小さい圧縮圧力で大きく変形するからであると考えられる。
- (8)圧縮試料の $\log m_v \sim \log p$ 曲線には $p_{c1}$ と $p_{c2}$ の近傍で変曲点が認められる。 $m_v$ は $p_{c1}$ 近傍の1番目の変曲点で最大値を示す。大きな圧力領域ではすべての試料がほぼ同じオーダーの $m_v$ に収束する。

#### 参考文献

- 土質工学会編(1982):土質工学ハンドブック, pp.147-185
- 土質工学会編(1990a):土質試験の方法と解説, pp.21-30
- 土質工学会編(1990b):土質試験の方法と解説, pp.349-358
- 土質工学会編(1990c):土質試験の方法と解説, pp.289-315
- 藤井弘章(1997):児島湖浚渫ヘドロ脱水ケーキの力学的性質に関する研究,岡山大学環境理工学部環境施設設計学研究室
- 藤井弘章, 島田清, 西村伸一(1999a):浚渫ヘドロを盛土材料とした場合の圧密・圧縮特性に関する基礎研究,平成8年度~平成10年度科学研究費補助金研究成果報告書(基盤研究(B)(2)課題番号08456119)
- 藤井弘章, 西村伸一, 井上隆司, 島田清, 脇谷芳招(1999b):児島湖浚渫ヘドロの脱水ケーキの変形特性,第3回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, pp.23-26
- Fujii,H.,Nishimura,S.,Wakitani,Y.,Inoue,T.,Seino,O. and Nishino,N.(2000): Compression characteristics of sludge cake, *Proc. International Symposium on Coastal Geotechnical Engineering in Practice*, pp.587-592
- 福島伸二, 北島明, 石黒和男, 谷茂, 池田康博, 酒巻克之(2000):固化処理したため池底泥土の堤体盛土材への適用性確認のための現場実証実験,平成12年度農業土木学会大会講演要旨集, pp.470-471
- 池田豊人(1998):建設副産物のリサイクルの推進について,基礎工, 26(11), pp.7-11
- 伊勢田哲也, 水野正憲(1971):締固めた土の圧縮性状に関する研究,土木学会論文報告集, No.188, pp.45-52
- 伊藤克彦, 大北康治(1998):高度脱水システムの開発,基礎工, 26(11), pp.69-73
- 勝又正治(1998):真空加圧脱水装置による建設汚泥の処理と有効利用,基礎工, 26(11), pp.100-102
- 松原榮一, 上田富正, 朝日影弘, 後藤年芳, 清水和也(2000):ため池内堆積土のランダム材への有効利用,第3回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, pp.43-48
- 小田友廣(1997):児島湖における底泥の浚渫・脱水・埋立処理工事,農業土木学会誌,65(6), pp.35-40
- 小川富美子, 松本一明(1978):港湾地域における土の工学的諸係数の相関性,港湾技術研究所報告, 17(13), pp.3-89
- 荻野隆造, 金山和司, 渡辺泰浩(2000):児島湖沿岸農地防災事業における底泥の脱水処置効率について,平成12年度農業土木学会大会講演要旨集, pp.722-723
- 岡山海岸保全児島湾周辺農業水利事業所(1988):児島湾周辺地質総合解析業務報告書
- Tuchida,T., Kobayashi,M. and Mizukami,J.(1991): Effect of aging of marine clay and its duplication by high temperature consolidation, *Soils and Foundations*, 31(4), pp.133-147
- 土田孝, 小林正樹, 水上純一(1993):論文賞を受賞して,土と基礎, 41(8), p.91
- 山本博之(1998):建設汚泥の盛土への利用,基礎工, 26(11), pp.58-63