

大型圧密装置による締固め不飽和土の圧密実験

鳥 山 眺 司*

Experimental Study of Consolidation of Compacted Partially
Saturated Soils Using Large Consolidometer
Koushi TORIYAMA

The one dimensional compression tests of compacted soils under undrained and drained conditions were carried out using large consolidometer. The size of specimen is 30 cm diameter and 10 cm height. The soils used in the experiment are a clayey soil and mixed soils of the clayey soil and gravel which maximum diameter is 10 mm.

From this experiment, the following results are obtained.

- (1) Under undrained condition, the pore pressure built up by compressive stress in clayey soil is little in dry side of optimum moisture content w_{opt} and large in wet side of w_{opt} . When compressive stress is again applied after consolidation of clayey soil, the pore pressure built up under undrained condition is increased in dry side of w_{opt} and decreased in wet side of w_{opt} in comparison with the pore pressure at first time.
- (2) The coefficient of consolidation c_v is obtained from compressive strain ε , pore water pressure u_w and pore air pressure u_a . The value of c_v for ε , u_w and u_a are mutually different and the values of c_v for u_w and u_a are greater than that for ε .
- (3) The rate of secondary consolidation $d\varepsilon/d \log t$ is about $1 \times 10^{-3} \sim 3 \times 10^{-3}$ and this is equal to the value obtained by other many compacted soils with standard oedometer.
- (4) The great pore pressure is remained after the completion of primary consolidation of compressive strain ε .
- (5) The mixture of gravel in clayey soil has effects on the decrease of void ratio and the increase of coefficient of consolidation.

1. ま え が き

1),2)

前報において締固め不飽和土の圧密実験の結果を報告した。これにより最適含水比 w_{opt} の乾燥側では間隙圧はほとんど生じないが、湿潤側では大きな間隙圧を生じること、間隙圧の消散過程は Terzaghi の理論曲線に似ているが理論値より遅れること、間隙圧の Hilf の式は実測値に比べて過大な値を与えることが明らかになった。

これらの実験は標準締固めをした直径 10cm, 高さ 12.7cm の供試体の等方圧密によるものである。締固め土の圧密が問題となるフィルダム、大規模盛土等では圧密はほぼ一次的に生じると考えられる。また標準圧密試験との対比の点からも、締固め土を一次元圧密実験することが望ましい。そこで大型圧密装置を試作し、これを用いて圧密実験を行った。本装置は礫を含むフィルダム遮水材料の圧密特性の研究を目的としたものであるが、今回は締固め土の一次元圧密の基本的性質を調べるため、粘性土（藤ノ森粘土）のみの圧密特性への締固め

* 農業施設工学研究室

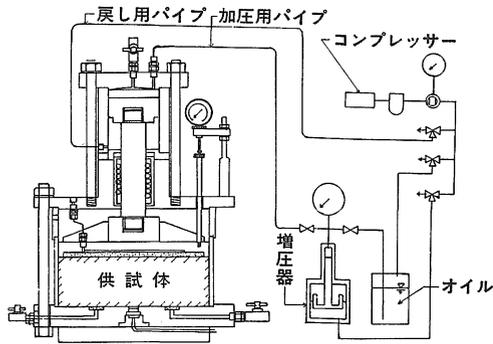


図-1 大型圧密装置

含水比の影響を実験し、さらに礫を含む粘性土の圧密特性についても実験した。

2. 大型圧密装置と実験方法

本実験で用いた圧密装置は供試体直径 30cm、高さ 10cm であり、供試体高さは 15cm まで増加することができる。第 1, 2 報^{1,2)}での締固め土の圧密実験は二重セルを用いて行った。この方法では供試体直径 10cm、高さ 12.7cm であり、等方圧密と異方圧密が可能であるが、完全な一次元圧密はできない。このため、標準圧密試験との比較ができない。そこで、標準圧密試験でのリングを大型化した直径 $D=30\text{cm}$ 、高さ $H=10\text{cm}$ で $D/H=3$ の圧密容器とした。本圧密装置の概略を図-1に示す。圧密リングはステンレス鋼製であり、底盤には間隙水圧測定のためのポーラス・セラミックと間隙空気圧測定用の粗いポーラス・ストーンが取り付けられている。圧密応力は最高 20kgf/cm^2 とした。これは高さ 100m のフィルダムの基礎近くの圧力である。これは農業土木で建設される最大級のフィルダムの圧力に相当する。圧密応力はコンプレッサーでの空気圧を増圧装置によって増加し、油圧として圧密装置の上部のピストンに加えた。増圧装置はベロフラムシリンダーを使用したもので摩擦はほぼ無視できるが、実験中、0.3%程度の圧力変動が認められた。

実験に用いた試料土は藤ノ森粘土である。この物理的性質を表-1に示す。さらに礫の圧密特性への影響を調べるために 2~5mm と 5~10mm 径の礫を等量ずつ藤ノ森粘土に混入した。試料土の粒径加積曲線を図-2に示す。図で F100は藤ノ森粘土のみ、F80, F60, F40, F20は藤ノ森粘土が80,60, 40,20%で残りが礫である。したがって、礫率はそれぞれ20, 40, 60, 80%となる。

F100試料土では非排水状態での間隙圧の発生、圧縮

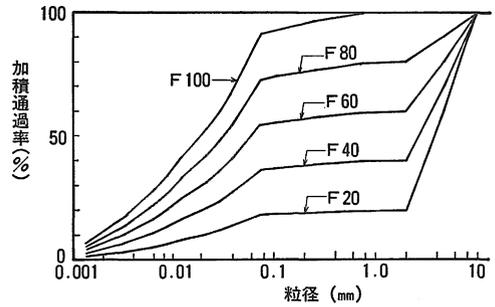


図-2 試料土の粒度曲線

表-1 藤ノ森粘土の物理的性質

液性限界 (%)	45.1
塑性限界 (%)	25.3
塑性指数	19.8
土粒子の比重	2.701
最適含水比 (%)	24.5
最大乾燥重さ (g/cm^3)	1.559

表-2 供試体諸元

供試体番号	実験前			実験後		
	w (%)	γ_d (g/cm^3)	e	w (%)	γ_d (g/cm^3)	e
F100-1	28.9	1.436	0.881	21.7	1.843	0.466
F100-3	26.7	1.496	0.805	23.0	1.693	0.595
F100-4	23.7	1.528	0.768	22.2	1.817	0.487
F100-5	25.9	1.499	0.802	22.3	1.678	0.610
F100-6	27.3	1.556	0.736	22.0	1.800	0.501
F100-7	29.5	1.457	0.854	20.3	1.811	0.491
F100-8	30.1	1.435	0.882	22.3	1.766	0.529
F80	22.8 (27.2)	1.669	0.614	17.3 (20.5)	1.921	0.402
F60	23.4 (28.3)	1.652	0.627	16.2 (20.5)	1.927	0.394
F40	16.7 (23.6)	1.750	0.531	15.1 (21.0)	2.017	0.328
F20	13.1 (26.5)	1.853	0.442	11.9 (14.6)	1.991	0.342

〔注〕カッコ内の数字は 2mm 以下の含水比

量、排水時の圧密特性への締固め含水比の影響の検討のため、最適含水比 w_{opt} の乾燥側から湿潤側まで 7 含水比の試料土を用いた。礫の圧密への影響は概要を調べるために藤ノ森粘土の含水比をほぼ一定に行う予定であったが、F40の含水比が予定より大きく乾燥側にずれた。実験前後の供試体諸元を表-2に示す。

供試体は圧密リング内に標準締固め用のランマー（重量 2.5 kgf, 落下高さ 30cm）で 3層 180回で締固めた。この締固めエネルギーは 5.73 kgf-cm/cm³ で、標準締固めエネルギーより 2% だけ多い。

締固め後の圧密リングと供試体を圧密装置にセットし、上部を組立てた後、約20時間放置した。その後、非排水状態で圧縮応力を加えた。標準圧密装置では 0.05~12.8 kgf/cm² の応力範囲で応力増加比 $\Delta p/p=1.0$ で圧密応力を増加させるが、締固め土では突固めによって先行圧密と同様の状態となっているため、圧密応力は一定量 Δp ずつ段階的に加えた方が現場施工との対応からも合理的である。そこで圧密応力は約 1.0 kgf/cm² の段階さざみに増加した。

本圧密装置は供試体上面からのみ排水可能である。排水、非排水は供試体上部からの排水用コックの開閉で行える。実験は圧密応力 $p=10$ kgf/cm² までは非排水状態で約30分間隔に応力を増加し、 $p=10$ kgf/cm² となった状態で約20時間非排水状態におく。その後、排水コックを開いて圧密を行った。一次圧密終了後、排水コックを閉じて再度、非排水状態で圧縮応力を 1 kgf/cm² ずつ増加して、 $p=20$ kgf/cm² とし、約20時間おいた後、圧密を行った。

実験終了後、圧密装置を分解し、圧密リングと供試体重量を測定後、試料土の含水比を測定した。実験終了後の供試体諸元も表-2に示す。

3. 非排水圧縮特性

圧縮応力は非排水状態で 1.0 kgf/cm² ずつ30分間隔に増加し、 $p=10$ kgf/cm² となると圧密をした。圧密終了後、非排水状態で $p=20$ kgf/cm² まで再度、圧力を増加した。不飽和土では間隙水圧 u_w と間隙空気圧 u_a がある。今回の実験でも前報と同様に大きな負の間隙水圧、即ち、サクシオンは測定されなかった。ただし、 $p=10, 20$ kgf/cm² で圧密した場合、圧縮ひずみ $\epsilon \sim$

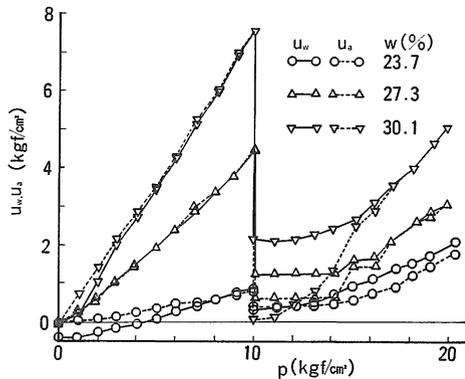


図-3 間隙圧-圧縮応力の関係への締固め含水比の影響

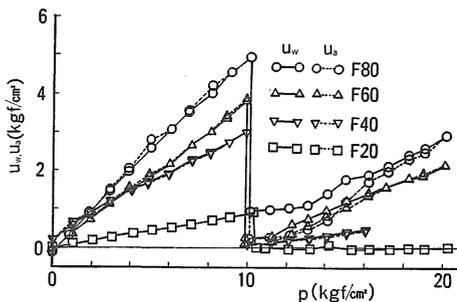


図-4 間隙圧-圧縮応力への疎率の影響

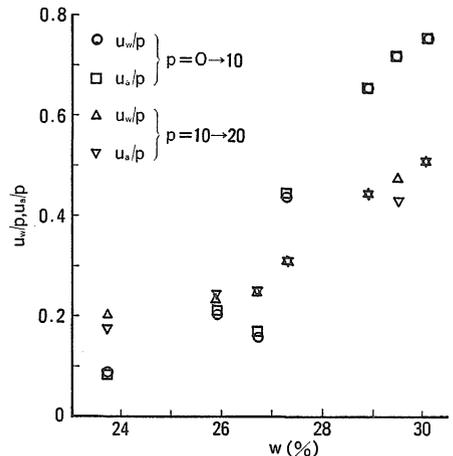


図-5 $u_w/p, u_a/p$ と締固め含水比の関係

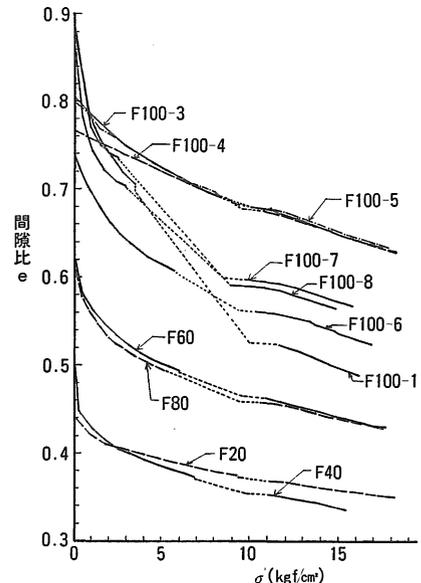


図-6 間隙比と有効応力の関係

log t の関係から、一次圧密の終了が確認された後も大きな間隙水圧が残留したり、一度消散した間隙水圧が、再度増加し、その後ほぼ一定値をとるといふ今までに無い傾向が得られた。

非排水過程での圧縮応力 p と間隙水圧 u_w 、間隙空気圧 u_a の関係への締固め含水比の影響を図-3に、礫分含有率の影響を図-4に示す。 $p=10 \text{ kgf/cm}^2$ で圧密によって u_w, u_a が低下している。しかし前述のように残留間隙圧 u_{wr}, u_{ar} が存在したため、 u_w, u_a とも 0 となっていない。F100 試料土では締固め含水比の低下とともに発生する u_w, u_a は小さくなっている。図-3での特徴は圧縮応力 p が 0 から 10 kgf/cm^2 の範囲では $u_a \geq u_w$ となり、これは従来からの $u_a \geq u_w$ となるとの考え方および不飽和土でのサクシヨンの測定結果と同じ傾向である。しかし、 p が 10 から 20 kgf/cm^2 の範囲では $u_w \geq u_a$ となり、従来と全く異なった結果となっている。さらに締固め不飽和土では載荷過程で圧密をし、 u_w, u_a を消散させると、それ以後の非排水過程で生じる u_w, u_a は低下するとされている。図-3より、含水

比の高い F100-6, 8 では圧密後の $p=10\sim 20 \text{ kgf/cm}^2$ での再圧縮過程での u_w, u_a は $p=0\sim 10 \text{ kgf/cm}^2$ での u_w, u_a に比べて小さい。しかし最適含水比よりかなり乾燥側では圧密後の u_w, u_a の方が大きな値となっている。

図-5に $u_w/p, u_a/p$ と締固め含水比 w の関係を示す。最適含水比 w_{opt} およびその湿潤側では圧密中、間隙水と空気が排出され飽和度はあまり変わらないが、体積圧縮係数 m_v が小さくなる。このため、再圧縮後に生じる間隙圧 u_w, u_a は小さくなる。しかし、 w_{opt} の乾燥側では圧密によって間隙空気のみが排出され、飽和度が増加する。このため、再圧縮時の u_w, u_a は初期に比べて大きくなったものと考えられる。ただし、 w_{opt} の乾燥側で生じる間隙圧は圧縮応力の 20~30% 以下であるから、フィルダムの安定上、大きな問題にはならない。

不飽和土の有効応力 σ' は Bishop³⁾ により

$$\sigma' = \sigma - u_a + \chi(u_a - u_w)$$

で与えられている。この式は不飽和土の剪断強度に対する有効応力⁴⁾としては適用できるが、体積変化に対しては適用できない。現在までのところ締固め不飽和土の体積変化に対する有効応力式は与えられていない。これは不飽和土を水浸するとサクシヨンの消失⁵⁾によって有効応力が減少するにもかかわらず、体積を減少する土やモンモリロナイトを多く含む土では土粒子間に多量の水を吸着して体積膨張する土が存在するためである。そこで、ここでは締固め土の体積変化に対する有効応力 σ' を

$$\sigma' = p - \frac{1}{2}(u_w + u_a)$$

と仮定して、非排水過程と圧密過程での有効応力 σ' と間隙比 e の関係を求めた。この結果を図-6に示す。図中の点線部分は非排水で20時間置いた部分、圧密部分および圧密終了後の第1回載荷の部分を示す。初期間隙比に大きな差があるが、(i) F100の w_{opt} の湿潤側 (F100-1, 6, 7, 8), (ii) w_{opt} の乾燥側 (F100-3, 4, 5), (iii) 礫率の小さな土 (F80, F60), (iv) 礫率の大きな土 (F40, F20) に大別される。このうち、(i) の w_{opt} の湿潤側は圧縮性が大きいことが、(ii), (iii), (iv) は初期間隙比が $e \sim \sigma'$ 関係に影響している。

間隙比 $e \sim \sigma'$ 関係から求めた体積圧縮係数 m_v と σ' の関係を図-7, 8に示す。図中の点線は図-6と同様に $p=10, 20 \text{ kgf/cm}^2$ での20時間放置後と圧密過程での m_v を表す。 $p=10, 20 \text{ kgf/cm}^2$ で20時間放置した場合、 u_a, u_w はやや増加または減少し、体積圧縮が進行する。このため、放置の段階で m_v が増加している。圧密は3~7日間行ったが、この間の有効応力の増加量

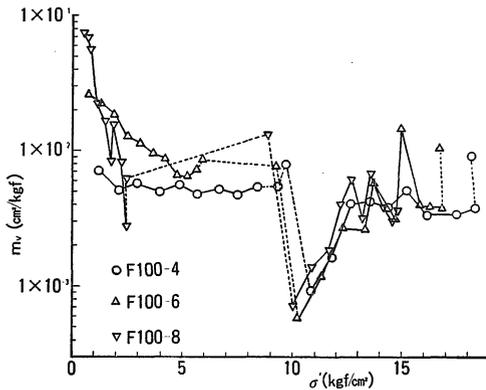


図-7 $m_v \sim \sigma'$ 関係への締固め含水比の影響

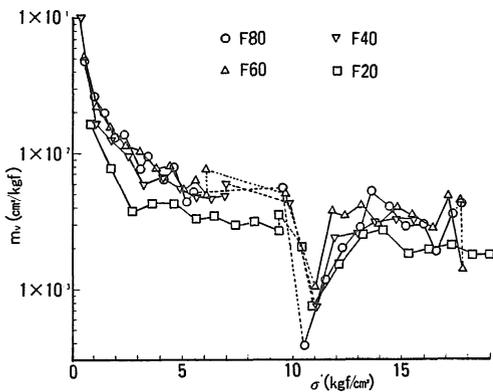


図-8 $m_v \sim \sigma'$ 関係への礫率の影響

も大きいため、F100供試体では m_v は一定ないしやや増加傾向を、礫混り土 (F80~F20) では m_v はやや減少傾向を示した。 $p=10 \text{ kgf/cm}^2$ での圧密終了の $e \sim \sigma'$ 関係をみると、この部分の e の減少量がその前後に比べて小さい。この結果、この部分で m_v が非常に小さな値となっている。これは図-7, 8での $p=10$ から 11 kgf/cm^2 への移行部の m_v がその前後の $1/2 \sim 1/3$ 程度であることに顕著に現われている。正規圧密粘土を長期間二次圧密すると、疑似先行圧密が生じて $e \sim \log p$ 曲線が過圧密を受けた様な形状となる。締固め土は正規圧密粘土ではないが、圧密によって正規圧密粘土と同様の二次圧密効果が生じたものと考えられる。前報では藤ノ森粘土 F100 の直径 10cm, 高さ 12.7cm の供試体を等方圧縮した場合の $m_v \sim \sigma'$ 関係を求めたが、 $\sigma' = 1 \sim 6 \text{ kgf/cm}^2$ に対して w_{opt} の乾燥側で $m_v = 1 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{kgf}$, w_{opt} の湿潤側で $m_v = 2 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{kgf}$ となった。これに対して大型圧密では $\sigma' \leq 3 \text{ kgf/cm}^2$ では m_v は σ' の増加とともに減少し、 $\sigma' \geq 3 \text{ kgf/cm}^2$ ではほぼ一定値となり、 $m_v = 5 \sim 7 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{kgf}$ である。これは等方圧密の約 $1/2$ の大きさである。この原因としては等方圧縮と一次元圧縮での応力状態の差、一次元圧縮では圧密リングの壁面摩擦による圧縮応力の減少が考えられるが、これらの要因のみでは m_v が $1/2$ になるとは考えられず、供試体の大きさの影響も考えられる。即ち、供試体作製のためには試料土をモールドやリング内に突き固めるが、これらは壁面近くでは締固め不十分となる。さらに上下面は供試体整形のため、ストレートエッジで削るが、この部分がゆるむことも考えられる。これ

らのゆるい部分の割合は供試体体積が大きくなるほど小さくなる。このゆるみは m_v を大きくする要因であり、これも等方圧密と大型圧密での m_v の差の一因と考えられる。

4. 圧密過程

圧縮応力 $p=10 \text{ kgf/cm}^2$ と 20 kgf/cm^2 で排水・排気を行い、圧密中の沈下量、間隙水圧 u_w 、間隙空気圧 u_a を測定した。沈下量からひずみ ϵ を、 u_w, u_a からは間隙水圧と間隙空気圧の消散度 U_w, U_a を求めた。

$$U_w = \left(1 - \frac{u_w}{u_{w0}}\right) \times 100 \quad (\%)$$

$$U_a = \left(1 - \frac{u_a}{u_{a0}}\right) \times 100 \quad (\%)$$

ここに u_{w0}, u_{a0} は圧密開始前の間隙水圧、間隙空気圧である。圧密時間 t と ϵ, U_w, U_a の例として F100-7 と F60 を図-9(a), (b) に示す。いずれの供試体でも $\epsilon \sim \log t$ 関係は飽和土の圧密曲線と類似した形をしており、Casagrande の方法によって一次圧密部分の直線と二次圧密部分の直線を引き、一次圧密終了点を求めることができる。しかし、 u_w, u_a は図-9 に示すように一次圧密終了後、急激に増加し、圧密開始約 1 日以後は沈下は

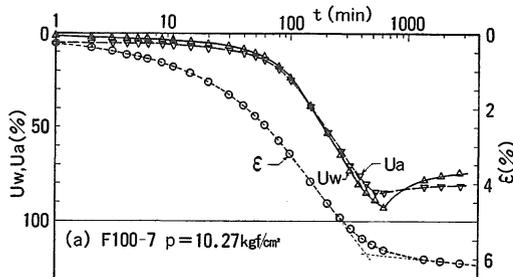


図-9(a)

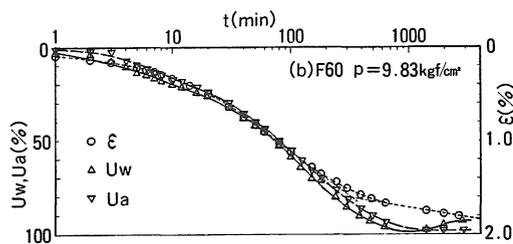


図-9(b) 圧密過程での ϵ, U_w, U_a と $\log t$ の関係

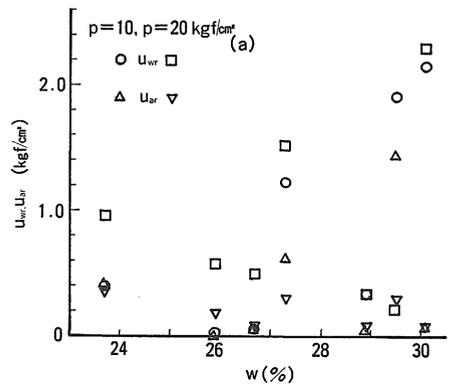


図-10(a)

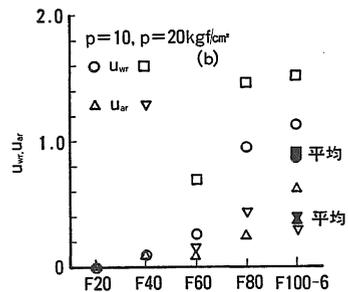


図-10(b) 残留間隙圧

進むが、 u_w, u_a はほぼ一定値を保ったままであり、7日間程度では全く消散の傾向が認められない。図-10(a), (b)に圧密終了時(圧密開始3~7日後)の残留間隙水圧

u_{wr}, u_{ar} と締固め含水比および礫含有率との関係を示す。ほとんどの供試体で $p=10 \text{ kgf/cm}^2$ に比べて $p=20 \text{ kgf/cm}^2$ の場合の u_{wr}, u_{ar} の方が大きく、かつ、締固め含水比とともに、また礫率の減少とともに u_{wr}, u_{ar} が増加している。

一次圧密終了後に間隙圧が増加したり、大きな残留間隙圧が存在することは等方圧密実験の場合には生じなかった。この原因を圧密装置に求めることはできない。なぜならば、排水パイプが詰ったものと仮定すれば、排水、排気が生じないから二次圧密が継続しないはずであるが実際には生じていること、間隙圧測定装置は0点法で水銀マンメータで測定しており、測定用銅パイプは実験後、毎回、脱気水で洗っており、その際、パイプの目詰りは生じていないこと、圧密中の荷重変動幅は0.5%以下であり、供試体底面での土圧の変動幅も0.5%以下

表-3 圧密中の応力増加比 $\Delta\sigma'/\sigma'_0$

No.	$p=10$	$p=20$
F100-1	1.91	0.233
F100-3	0.106	0.099
F100-4	0.039	0.080
F100-5	0.194	0.125
F100-6	0.561	0.142
F100-7	2.00	0.318
F100-8	2.68	0.315
F80	0.707	0.088
F60	0.592	0.100
F40	0.408	
F20	0.115	

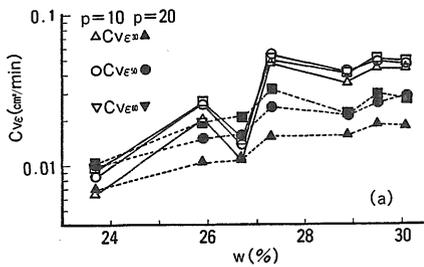


図-11(a)

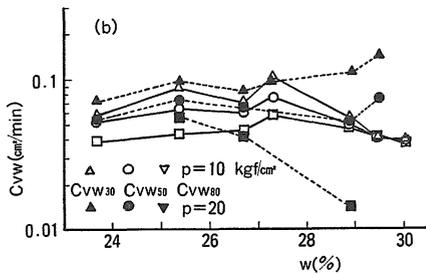


図-11(b)

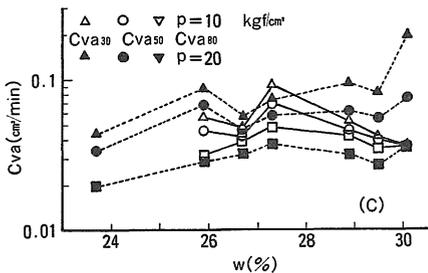


図-11(c) 圧密係数と締固め含水比の関係

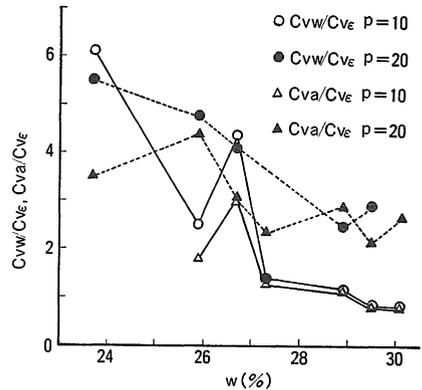


図-12 圧密係数比と締固め含水比の関係

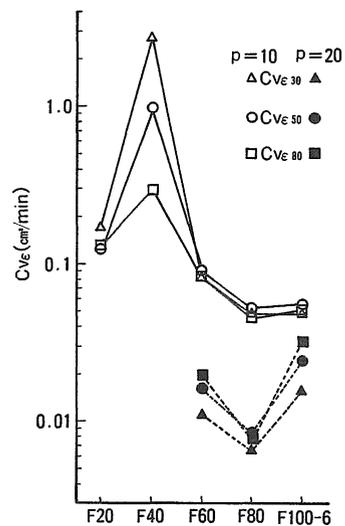


図-13 礫率による C_{ve} の変化

であったこと、実験は20℃の恒温室内で行い、温度変化は1℃以下であったことなどである。この残留間隙圧については今後、実験材料を変えて、その有無を調べる必要があらう。

圧密係数 c_v を $\epsilon, U_w, U_a \sim \log t$ 関係から求めた。 $\epsilon \sim \log t$ 関係からは一次圧密でのひずみ ϵ_{100} の 30, 50, 80%の時間に対する c_v を、 $U_w, U_a \sim \log t$ 関係からは U_w, U_a が 30, 50, 80%の時間に対する c_v を求めた。圧縮ひずみ ϵ に対する圧密係数を c_{ve} , 間隙水圧と間隙空気圧に対する圧密係数を c_{vw}, c_{va} とし、圧密度 30, 50, 80%はそれぞれにサフィックスの 30, 50, 80 を付して表わす。図-11に c_{ve}, c_{vw}, c_{va} と締固め含水比 w の関係を示す。 c_{ve} は圧密度の増加とともにやや大きくなる。また、締固め含水比 w の増加とともにやや大きくなっている。これに対して、 c_{vw}, c_{va} は圧密度の増加とともに減少しており、かつ、締固め含水比に対してほぼ一定値をとっている。等方圧密で U_w から求めた c_{vw} は $2 \sim 6 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$ であったが、一次元圧密での $c_{vw} = 4 \sim 10 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{min} = 0.7 \sim 1.7 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$ であって、等方圧密の値の約半である。また図-10の c_{ve}, c_{vw}, c_{va} の比較より、ひずみから求めた c_{ve} が間隙圧より求めた c_{vw}, c_{va} に比べて小さい。そこで圧密度50%での $c_{vw}/c_{ve}, c_{va}/c_{ve}$ と締固め含水比の関係をプロットすると図-12となる。 w の増加とともに両者の比は1.0に近づいているが、 $p=10 \text{ kgf/cm}^2$ の場合に比べて $p=20 \text{ kgf/cm}^2$ の場合の方が大きな値となっている。図より $w \leq 26.7\%$ の含水比の供試体の $c_{vw}/c_{ve}, c_{va}/c_{ve}$ は2.0以上であり、 $w \geq 27.3\%$ の含水比の供試体では $p=10 \text{ kgf/cm}^2$ の場合、ほぼ1.0に近く、 $p=20 \text{ kgf/cm}^2$ の場合は2.0以上となっている。この比が2.0以上となっている場合の一次圧密100%でのひずみ ϵ_{100} は $p=20 \text{ kgf/cm}^2$ の $w=29.5, 30.1\%$ の場合には1.35%, 1.64% であるが、他は1.0%以下である。これに対して $c_{vw}/c_{ve}, c_{va}/c_{ve}$ が1.0に近い場合の ϵ_{100} は最小で2.35%, 他は3.5%以上の大きなひずみが生じている。これらの大きな ϵ_{100} を生じる圧密では排水開始後、すぐに沈下が始まり、間隙水の排出も生じる。また飽和度も高いため、圧密は Terzaghi の一次圧密に近い形で進み、したがって、 c_{ve} と c_{vw}, c_{va} がほぼ等しい値となる。しかし、 ϵ_{100} が小さい場合、圧密開始と同時に間隙水圧、間隙空気圧の減少が始まるが、圧密沈下はほとんど進まず、50分程度の経過後から圧密沈下が進みはじめ、間隙水圧や空気圧の消散に対して沈下の遅れが顕著となる。これが c_{vw}, c_{va} に比べて c_{ve} の小さくなる原因である。各供試体の圧密応力が 10, 20 kgf/cm^2 の場合の圧密前後の有効応力の差 $\Delta\sigma'$ と圧密

開始前の有効応力 σ'_0 の比 $\Delta\sigma'/\sigma'_0$ を圧密中の応力増加比とすると、この値は表-3となる。表-3より、 $c_{ve} \doteq c_{vw} \doteq c_{va}$ となる場合の $\Delta\sigma'/\sigma'_0$ は0.56以上であり、 c_{vw}, c_{va} が c_{ve} の2倍以上となる場合は $\Delta\sigma'/\sigma'_0$ が0.32以下である。締固め土を標準圧密装置で圧密した場合、応力増加比 $\Delta p/p$ が小さくなると $\epsilon \sim \log t$ 曲線が変化して、一次圧密と二次圧密の区別がつきにくくなるが、この場合も $\Delta\sigma'/\sigma'_0$ が小さい場合に同様の状態になったものといえよう。

礫混入の場合の c_{ve} と礫率の関係を図-13に示す。F20, F40では $p=20 \text{ kgf/cm}^2$ での圧密を行わなかったが、F60, F80, F100に比べてF20, F40の c_{ve} は大きな値となっている。F20に比べてF40の c_{ve} の方が大きい。F20では u_w, u_a は圧密開始とほとんど同時に0となり、圧縮ひずみのみが増加し、圧密曲線に類似した $\epsilon \sim \log t$ 曲線になったので c_{ve} を求めてみた。これ

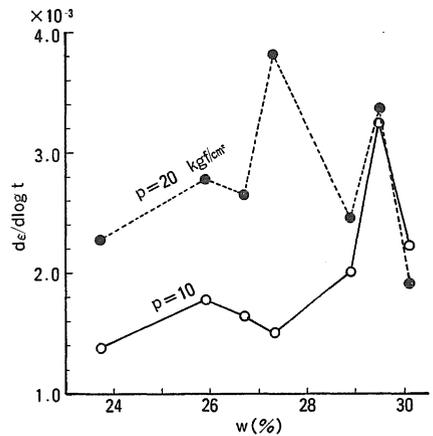
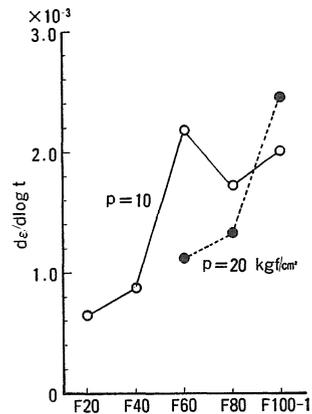


図-14 二次圧密速度と締固め含水比の関



係図-15 二次圧密速度と礫率の関係

に対してF40では圧密開始と同時に u_w, u_a の50%が消散し、その後は他の供試体と同様の消散過程をとった。さらにF40では他の供試体と異なって、圧密開始と同時に ϵ_{100} の25%のひずみが生じた。このため、F40の c_{ve} が非常に大きくなった。

$e \sim \log t$ 曲線の二次圧密部分のこう配 $de/d \log t$ と締固め含水比の関係を図-14に、 $de/d \log t$ と礫率の関係を図-15に示す。かなりの変動があるが、標準圧密装置を用いて行った各種の土の二次圧密速度 $de/d \log t$ の大部分が $0.5 \sim 3.0 \times 10^{-3}$ であったのと比較するとほぼ等しい値となっており、二次圧密速度への供試体高さの影響は無いものと推定される。

5. あとがき

締固め土の大型圧密実験を行い、次のような結果を得た。

1. 締固め含水比の増加とともに非排水状態で生じる間隙圧 u_w, u_a は大きくなる。 w_{opt} の湿潤側では載荷重の50%以上が間隙圧となる。
2. 圧縮応力 $p=10 \text{ kgf/cm}^2$ で圧密後、再度、非排水状態で圧縮すると、 w_{opt} の乾燥側では以前より大きな間隙圧が、 w_{opt} の湿潤側では小さな間隙圧が生じる。
3. 体積圧縮係数 m_v は有効応力 σ' が 3 kgf/cm^2 以下では σ' の増加とともに減少するが、 3 kgf/cm^2 以上ではほぼ一定値となり、 $5 \sim 7 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{kgf}$ 程度であり、これは等方圧密で求めた $m_v \doteq 1 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{kgf}$ に比べて小さい。
4. 圧密後、再度、非排水状態で圧縮応力を増加すると、圧縮応力の増加による体積の減少が非常に小さくなるが応力範囲が存在する。

圧密過程では圧縮ひずみ ϵ と $\log t$ の関係は正規圧密

粘土と類似した形状をし、一次、二次圧密に分離できる。しかし、間隙圧 u_w と u_a は一次圧密終了後に大きな値が残留する場合がある。

6. 圧密係数 c_v はひずみ、間隙水圧、間隙空気圧から求めた値 c_{ve}, c_{vw}, c_{va} がそれぞれ異なる。 c_{ve} は圧密中にやや大きくなり、 c_{vw}, c_{va} は圧密の進行とともに減少するが、 c_{ve} は c_{vw} や c_{va} より小さい。

7. 二次圧密速度 $de/d \log t$ は $1 \sim 3 \times 10^{-3}$ で、小型の標準圧密装置での他の試料土の値とほぼ等しい。

8. 礫の混入により、間隙比 e は減少し、非排水状態で生じる間隙圧は低下した。また圧密の進行も速くなった。

なお、本実験を行うにあたりましては農業施設工学研究室の専攻生の今岡幸男君、多久和泰正君、福島真二君に多大の協力を賜りました。ここに記して、深く感謝の意を表します。また本実験装置は昭和58年度科学研究費(一般(C) 58560230)によって購入しました。

参考文献

1. 鳥山昶司：島大農研報，16：125-129，1982.
2. 鳥山昶司：島大農研報，18：150-158，1984.
3. Bishop, A. W. : Pore Pressure and Suction in Soils, 38-46, 1960 (Butterworths)
4. Jennings, J. E. B. and J. B. Burland : Geotechnique, 12 : 125-144, 1962.
5. 福田 護・中沢重一：土質工学会論文報告集，17-2 : 65-73, 1977.
6. Dakshanamurthy, V. : Geotech. Testing Jour., 2-1 : 57-60, 1979.
7. 鳥山昶司・沢田敏男：農土論集，25 : 15-20, 1968.
8. 鳥山昶司・沢田敏男：農土論集，30 : 34-39, 1969.