

大阪湾東部地域における 上部洪積粘土 (Ma12) の圧密特性

阿部知之・畠山正則・沢田好幸

Consolidation Properties of Upper Pleistocene Clay (Ma12) in the Eastern Area of Osaka Bay

Tomoyuki ABE, Masanori HATAKEYAMA and Yoshiyuki SAWADA

Abstract

Ma12, the most recent deposit of the upper pleistocene clay layers found in the Osaka plain, has several unique consolidation characteristics. Among these are (1) consolidation yield stress is high even though void ratio is about the same as for alluvial clay, and (2) compression index is extremely high.

Heretofore, the Tenma layer found directly above Ma12 has always been regarded as the bearing stratum for structures. However, as the numbers of large-scale land reclamation projects and construction of large structures have increased, it has become important to insure the safety of these projects by understanding the consolidation characteristics of Ma12.

Constant rate of strain consolidation tests were conducted to determine the consolidation characteristics of Ma12. The test, with using controlled strain loading, can determine consolidation yield stress more accurately than the standard consolidation test.

This paper reports on the compression characteristics of Ma12 samples taken from the Nanko district, located along the eastern Osaka Bay coast, and from the Taisho and Shinsaibasi districts, located inland areas.

Data from the constant strain consolidation test, the stress history test (in which the sample is repeatedly loaded and unloaded) and the long-term consolidation test provided the following information on the consolidation characteristics of Ma12.

- (1) Although void ratio is about the same as in alluvial clay, consolidation yield stress is clearly higher. Along the eastern Osaka Bay coastline, consolidation yield stress p_c ranges from 3.8 kgf/cm² to 6.4 kgf/cm². These values tend to increase when the location is shifted towards the inland areas.
- (2) Compression index C_c in the eastern coastal Osaka Bay region shows higher values than those estimated from liquid limit using Skempton's formula. When liquid limit is 110% or above (void ratio is 1.8 or more), compression index C_c increases sharply.
- (3) Recompression index C_r , which expresses compression characteristics in overconsolidated regions, clearly varies according to the location of the sample. Smaller values are obtained for the samples from the inland area. The ratio C_r/C_c is 1/20 or less for most of the samples.
- (4) Coefficient of secondary consolidation C_α increases as the stress ratio P/P_c rises.

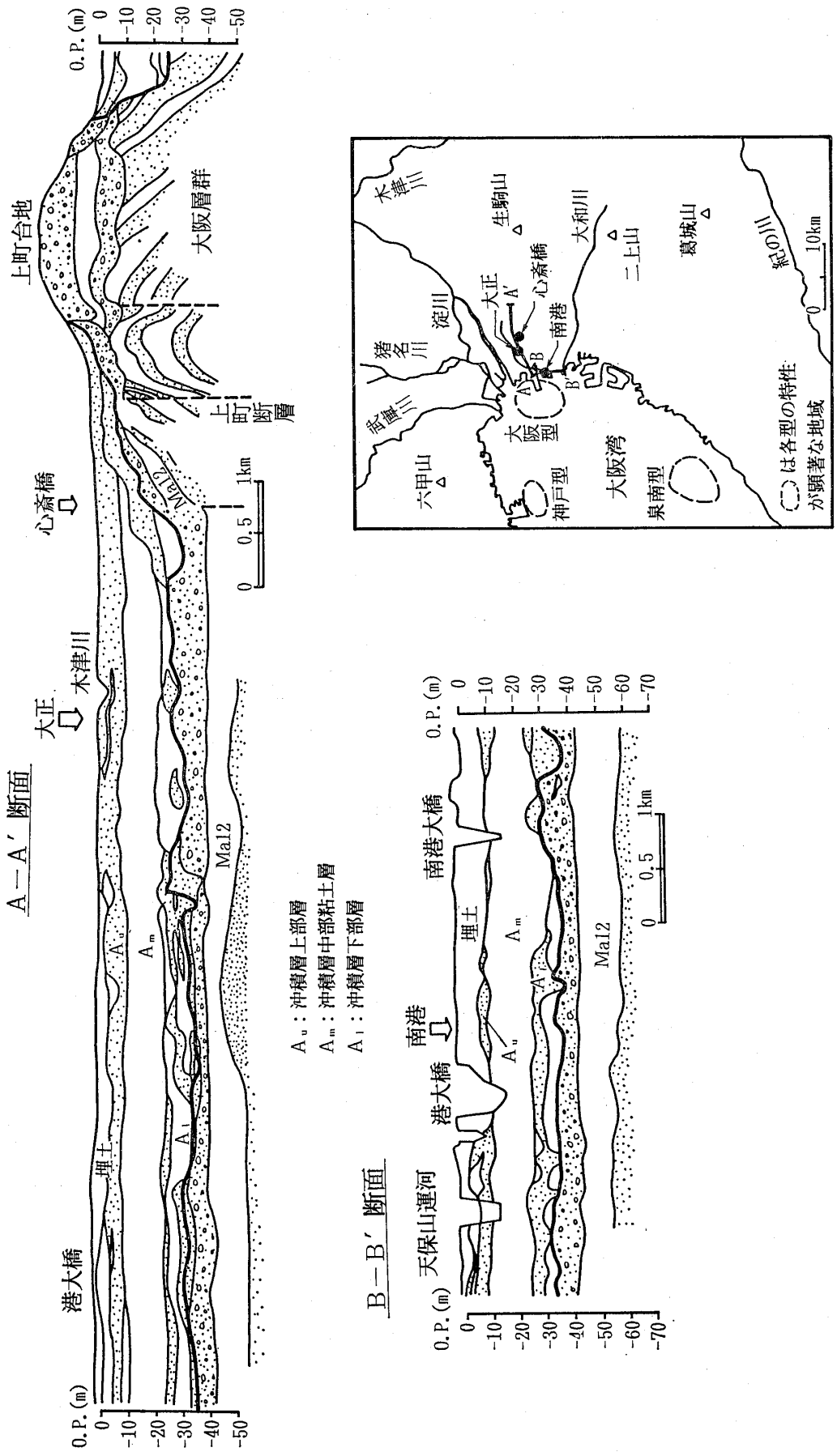


図-1 大阪平野の地質断面図
Fig. 1 Geological section of Osaka plain

1 まえがき

大阪平野に分布する上部洪積粘土層のうち、最も新しい地層である Ma12 は、その土質特性を当地域の沖積粘土と比較すると、間隙比は同じ程度であるにもかかわらず、圧密降伏応力は大きいこと、また、圧密降伏応力を越えてからの圧縮指数が非常に大きいことなどの特異な性質を示す。

従来、Ma12 の直上にある天満層が構造物の支持層として扱われてきたが、大規模な埋立て工事や大型構造物の建設が顕著になるにしたがって、その安全性の確保のために、Ma12 の圧密特性を把握することが重要な課題となってきた。

この Ma12 の圧密特性を把握するために、さきに筆者らが開発した定ひずみ速度圧密試験装置を使用した。この装置は、軟岩などの三軸圧縮試験装置などと同じように、ひずみ制御方式で連続載荷を行う圧密試験装置であり、標準圧密試験によるよりも、圧密降伏応力をより正確に求めることができるという特徴をもっている。

Ma12 は大阪湾沿岸部に広く分布する地層であるが、地域によって土質特性が異なることが指摘されており、ポートアイランド沖の神戸型、大阪港中の大阪型および関西国際空港海域の泉南型の3つに分けられている。

この報文においては、大阪湾の東部地域の沿岸部（南港）と内陸部（大正および心齋橋）において採取された Ma12 の試料に関する圧密特性について述べる。

2 大阪湾東部地域の地質概要

大阪湾東部に広がる大阪平野は、三方を山地に囲まれた盆地状の低地である。この大阪平野下の地質は、上位より沖積層、上部洪積層および下部洪積層～鮮新統上部からなる大阪層群から構成されている。

大阪層群は、新第三紀の後半期から第四紀更新世の前半（約300万年前から30万年前まで）にかけて、大阪湾を中心に新第三紀前半における堆積層（神戸層群、二上層群など）の上に堆積した海成あるいは淡水成の堆積物である。粘土層と砂礫層の互層からなり、古いものでも、固結程度はそれ程大きくない。大阪層群中には、海成粘土層が11層あり、古い順、すなわち、下部から順に番号を付し、Ma0, Ma1, …… , Ma10 のように表示されている。

上部洪積層は、第四紀更新世中期から後期に堆積した地層であって、段丘堆積層に対応する平野下の地層とい

うことから、大阪層群とは区別して扱われている。この上部洪積層は、Ma11 および Ma12 と名付けられた2つの海成の粘土層を挟み、最上部には、天満層と呼ばれている砂礫層あるいは砂層が分布している。天満層は、軟弱な沖積層の直下に分布する連続性のよい砂礫層で、豊富な被圧地下水をもつ帯水層を形成している。

図-1 は、大阪湾周辺の平面図と試験の試料を採取した南港、大正および心齋橋周辺の地質断面図である。

Ma12 は、図-1 に示すように、天満層の直下に分布している厚さ10~20mの海成粘土層で、大阪湾沿岸部や平野部において、地表から約40mの深さに広く分布している。ただし、心齋橋においては、約25m程度の深さを示しているが、これは、おそらく断層活動によるものと考えられる。なお、心齋橋付近の粘土層については、厳密な地層対比はなされてはいないが、物理的性質が類似していることや層序から判断して、図中に示す粘土層を Ma12 相当層として取扱った。

3 圧密特性を把握するための試験方法

3.1 標準圧密試験

標準圧密試験においては、一般的に、載荷段階を8段階として、圧密荷重は荷重増加率が1（たとえば、0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 6.4, 12.8, 25.6 kgf/cm²）にな

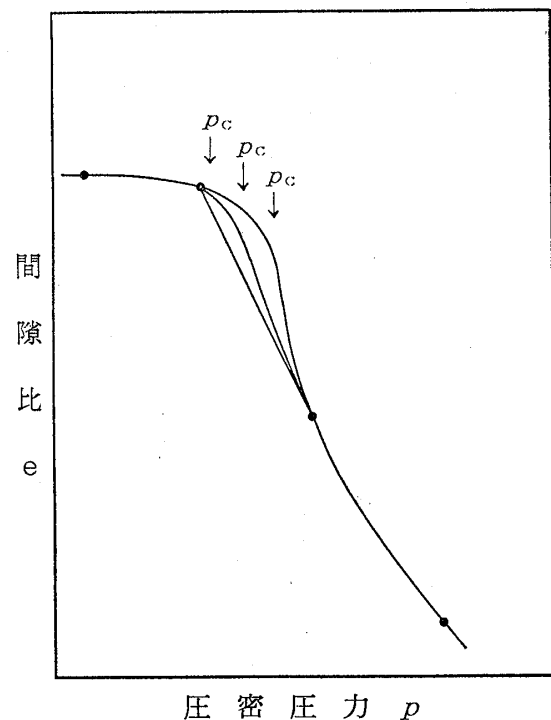


図-2 個人誤差による $e \sim \log p$ 曲線の相違
Fig. 2 Difference in $e \sim \log p$ curves from personal error

るように選ばれている。しかしながら、たとえば、圧密降伏応力 p_c の値が $4 \sim 9 \text{ kgf/cm}^2$ の範囲のいずれかの値であるような場合には、荷重間隔が 3.2 kgf/cm^2 あるいは 6.4 kgf/cm^2 という広い領域にあたるために、圧密圧力 p と間隙比 e の関係を表す $e \sim \log p$ 曲線の形状を正確に描くことは難しく、圧密降伏応力 p_c を正確に評価することはできない。すなわち、図-2に示すように、試験技術者によって異なる $e \sim \log p$ 曲線が得られ、したがって、この曲線から求められる圧密降伏応力 p_c あるいは圧縮指数 C_c の値が異なるものとなり、この差異は地盤の圧密沈下算定に影響を与えることになる。

たとえば、Ma12 から採取した粘土試料は、

- 粘土層の層厚 $H : 10\text{m}$
- 初期有効応力 $\sigma_v' : 3.0 \text{ kgf/cm}^2$
- 初期間隙比 $e_0 : 1.8$

の値を示しており、この試料に対する標準圧密試験と後述する定ひずみ速度圧密試験の結果は、つぎのような値を示している。

	圧密降伏応力 p_c	圧縮指数 C_c
標準圧密試験	6.4 kgf/cm^2	1.61
定ひずみ速度 圧密試験	6.9 kgf/cm^2	2.51

以上に示した試験の結果を用いて、

$$S = \frac{C_c}{1+e_0} \cdot H \cdot \log \frac{\sigma_v' + \Delta p}{p_c}$$

によって、それぞれの場合の圧密沈下量 S を求め、増加

後の応力 ($\sigma_v' + \Delta p$) と圧密沈下量 S との関係を図-3に示す。ここに、 Δp は増加応力を表す。この結果によれば、増加後の応力が大きくなると、圧密沈下量の差は小さくなるが、増加後の応力が圧密降伏応力をわずかに上回る領域では、顕著な差が生じることになる。

以上のように、圧密沈下量の評価に大きな影響を与えることから、圧密降伏応力の値を正確に求めるために、荷重増加率を 0.5 あるいは 0.25 として、荷重間隔を小さくし、 $e \sim \log p$ 曲線の作図精度を高めるような小幅載荷圧密試験が行われてきた。しかしながら、この小幅載荷圧密試験は、試験終了までに長時間を要し、必ずしも実用的とはいえない。

3・2 定ひずみ速度圧密試験

さきに述べたように、圧密沈下量を正しく評価するためには、標準圧密試験あるいは小幅載荷圧密試験では不十分であることが判明した。そこで、筆者らは、圧密降伏応力の値の決定精度の向上と試験の能率化を図るために、連続載荷方式の定ひずみ速度圧密試験装置を開発した。

(1) 定ひずみ速度圧密試験装置の概要

定ひずみ速度圧密試験は、軸変位の変化速度が一定になるように軸荷重を強制的に供試体に加え、そのときどきの変位、軸荷重、過剰間隙水圧を測定して、圧密圧力と間隙比との関係、平均圧密圧力と圧密係数との関係、体積圧縮係数などの圧密定数を連続的に求める試験である。この定ひずみ速度圧密試験の装置の概要は、図-4に示す通りで、載荷装置、圧力負荷装置および計測・処

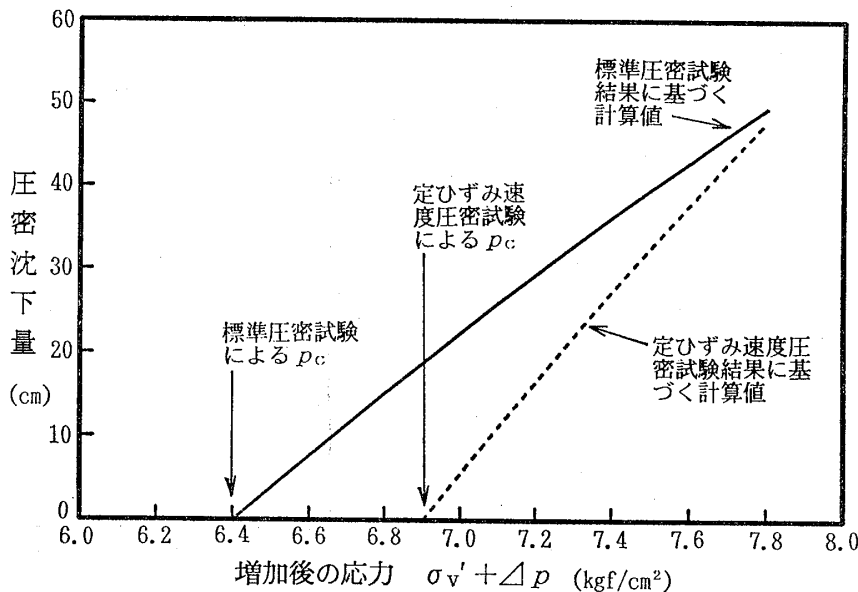


図-3 圧密沈下量の試算結果

Fig. 3 Calculation of consolidation settlement for a typical case

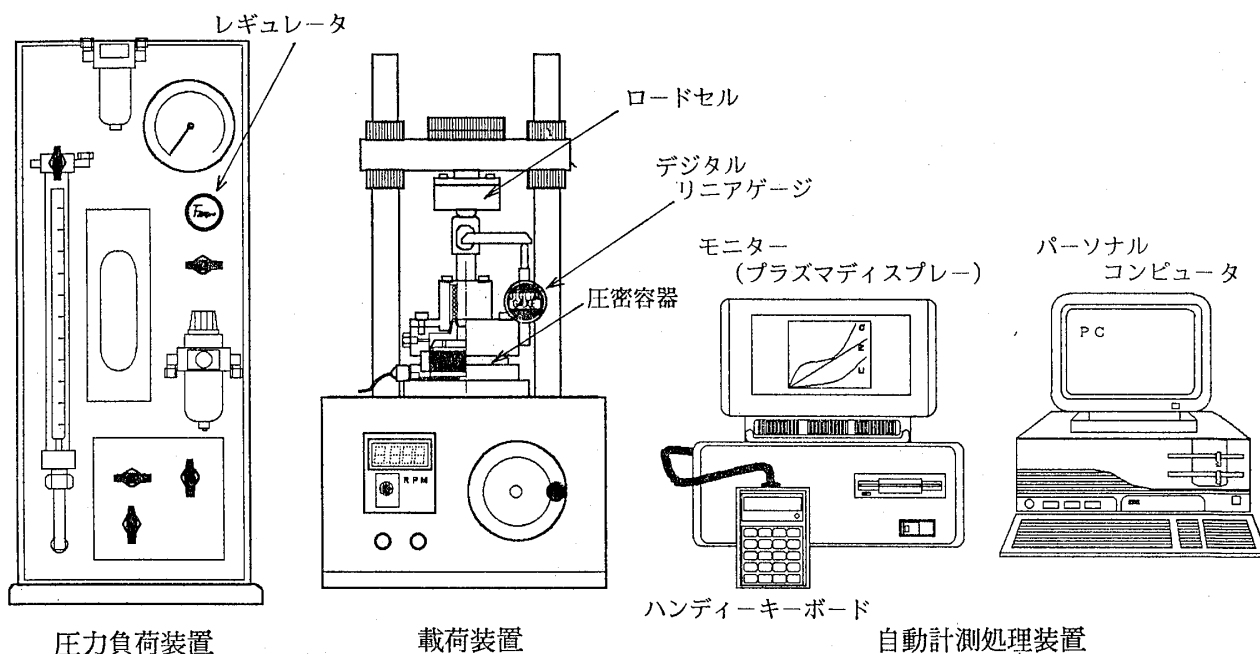


図-4 定ひずみ速度圧密試験装置の概要

Fig. 4 Apparatus of constant rate of strain consolidation test

表-1 定ひずみ速度圧密試験装置の仕様

Table 1 Specification of constant rate of strain consolidation test apparatus

載荷装置	載荷能力	2000 kgf
	荷重計	ロードセル 容量: 20、50、100、200、500、1000、2000 kgf
	変位計	デジタルリニアゲージ 20mm(1/1000mm)
	間隙水圧計	ひずみゲージ式圧力変換器 200 psi
	変位速度	0.004~0.6 mm/min
	供試体寸法	直径60mm×高さ20mm
	圧密リング	内面テフロンコーティング
	外部制御	荷重、変位、時間
圧力負荷装置		最高背圧: 6 kgf/cm ²
計測・処理装置	CPU	16 ビットマイクロプロセッサ
	メモリー	約 3000 データ
	対応センサー	ロードセル、デジタルリニアゲージ、圧力トランスジューサー
	入力装置	キーボード
	出力装置	プラズマディスプレイ、プリンター、XYプロッター
	通信回線	RS-232C max 9600 bps

理装置から成る。これらの装置の主な仕様は、表-1に示す通りである。

① 载荷装置

载荷部は、 $2tf$ までの変動载荷に対して速度が一定に保たれるサーボモータ方式で、変位速度が $0.0004 \sim 0.6$ mm/minの範囲で任意の変位速度によって载荷することが可能である。

荷重の検出には、ロードセルを使用し、荷重値の測定精度を高めるために、数種の容量のものを備え、試料の硬さに応じて使用できるようにした。また、軸変位の測定には、リニアゲージ(感度: $1/1000$ mm)を試料の直上に設置して、梃子の原理を応用した方式によって、载荷中に偏心があった場合でも平均的な変位量を計測することができるようにした。

② 圧密容器

圧密容器は、図-5に示す通り、ピストン部分にベローフラムを使用した密閉型であり、バックプレッシャーの負荷を容易にしている。間隙水圧およびバックプレッシャーの計測には、ひずみゲージ式圧力変換器を用い、圧縮中の過剰間隙水圧は供試体の下部で測定する。

供試体の寸法は、直径60mm、高さ20mmであって、標準圧密試験に用いる供試体寸法と同じ寸法とした。圧密リングの内面には、テフロンコーティングを施し、供

試体を設置する際には、シリコンオイルをリング内面に塗布することによって、供試体とリング内面との摩擦による障害の低減を図った。

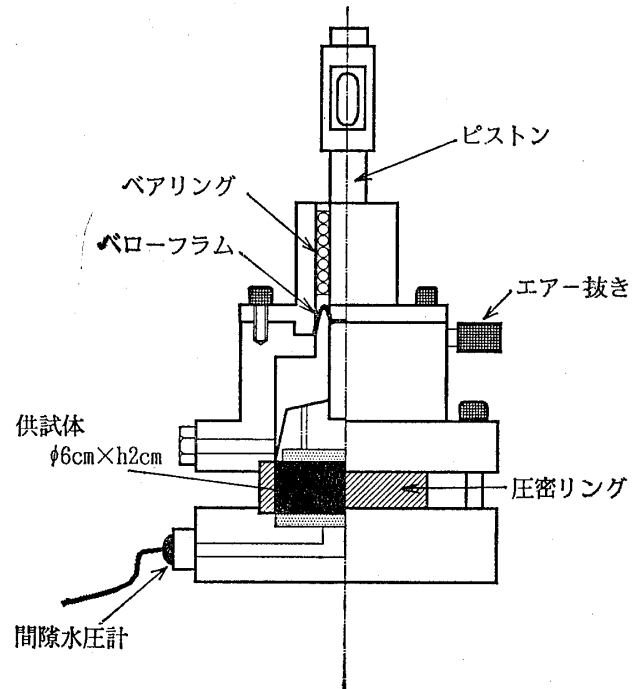


図-5 圧密容器
Fig. 5 Oedometer

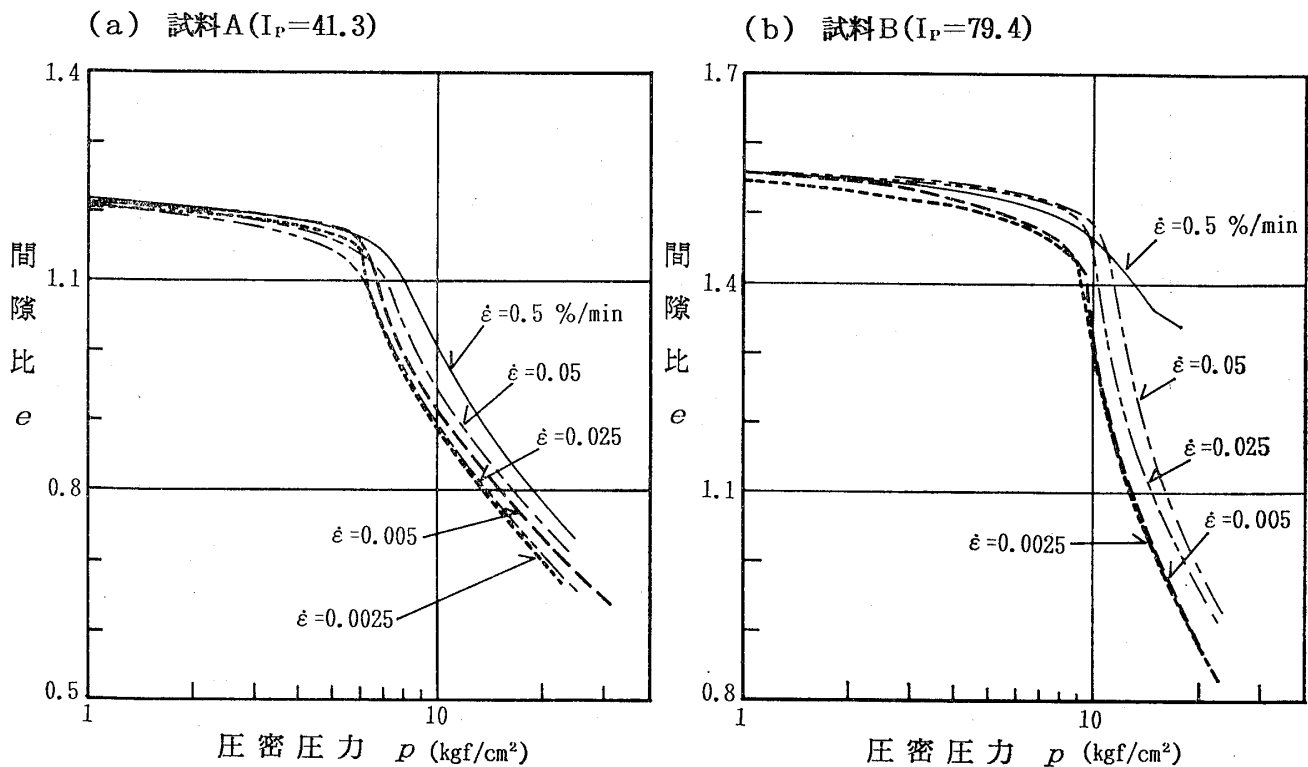


図-6 ひずみ速度の違いによる $e \sim \log p$ 曲線の変化
Fig. 6 Differences in $e \sim \log p$ curves caused by various strain rate

③ 圧力負荷装置

圧力負荷装置は、バックプレッシャーを負荷することによって供試体を飽和させて、過剰間隙水圧の測定精度を向上させるものである。バックプレッシャーは、最大 6 kgf/cm² まで負荷することができる。

④ 計測・処理装置

計測・処理装置は、データロガー、パーソナルコンピューター、モニターなどから構成されており、自動計測および迅速なデータ処理が可能である。

(2) 定ひずみ速度圧密試験装置の特徴

① $e \sim \log p$ 曲線に対するひずみ速度の影響

定ひずみ速度圧密試験によって求められる $e \sim \log p$ 曲線の形状は、ひずみ速度の大きさによって影響を受けるといわれており、したがって、それらの曲線から読取られる圧密降伏応力 p_0 の値にも影響することになる。

筆者らが開発した定ひずみ速度圧密試験装置によって求められる $e \sim \log p$ 曲線の形状および圧密降伏応力のひずみ速度依存性を調べるために、塑性指数 PI が 41.2 (試料 A) と 79.4 (試料 B) の 2 種類の洪積粘土に対する実験を実施した。

この実験においては、両試料からそれぞれ 5 個の供試

体を作成し、0.1, 0.01, 0.005, 0.001, 0.0005 %/min の 5 種類のひずみ速度($\dot{\epsilon}$)を用いた。図-6 は、それぞれのひずみ速度に対する $e \sim \log p$ 曲線を比較して示したものである。試料 A および試料 B においては、求められた圧密降伏応力の値は、ひずみ速度が大きくなるにしたがって大きな値を示し、この値を示す曲線の曲率も大きくなっており、したがって、圧縮指数は小さくなる傾向を示している。

上記の実験においては、同一試料であっても、それぞれのひずみ速度に対する供試体が異なるため、供試体の違いによる影響を受けていることが考えられたので、試料 B から作成した一つの供試体において、試験の途中でひずみ速度を変化させて、一連の試験を実施した。この試験によって得られた $e \sim \log p$ 曲線と $u \sim \log p$ 曲線を図-7 に示す。ここに、 ϵ は圧縮ひずみ、 u は間隙水圧を表す。なお、ここでは、初期間隙比の異なる試料を用いたひずみ速度一定の場合の試験結果と比較するために、縦軸は圧縮ひずみで表した。この図において、破線および一点鎖線は、それぞれ、ひずみ速度を 0.001 %/min および 0.01 %/min としたときの試料 B の $e \sim \log p$ 曲線 (図-6 参照) を記入したものである。同一供試体にお

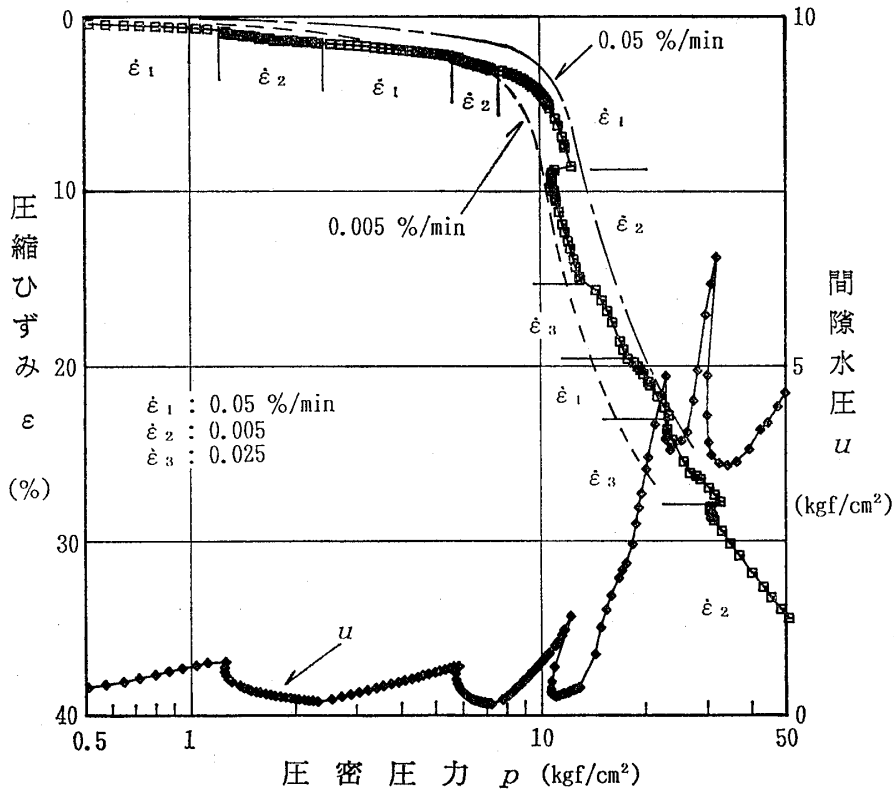


図-7 試験の途中でひずみ速度を変化させた場合の $e \sim \log p$ 曲線および $u \sim \log p$ 曲線

Fig. 7 $e \sim \log p$ curve and $u \sim \log p$ curve of consolidation test during which strain rate is changed

いて、ひずみ速度を変化させた試験における $e \sim \log p$ 曲線は、併記した破線と一点鎖線の上に位置しており、ひずみ速度の値が $e \sim \log p$ 曲線の形状に影響を及ぼすことは明らかであり、また、 $u \sim \log p$ 曲線においても、ひずみ速度が変化することによる曲線の乱れが見られる。

図-8は、図-6に示した試験結果に基づいて、圧密降伏応力とひずみ速度の関係を示したものである。この図によれば、塑性指数が小さい方の試料Aにおいては、ひずみ速度が大きくなるにしたがって、圧密降伏応力はわずかではあるが大きくなっている。これに対して、塑性指数が大きい方の試料Bにおいては、圧密降伏応力の

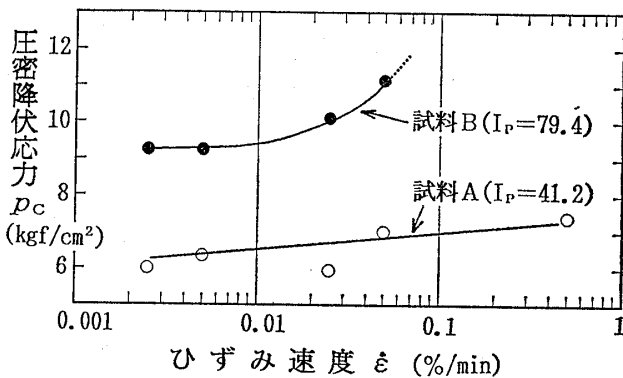


図-8 圧密降伏応力とひずみ速度との関係
Fig. 8 Relationship between consolidation yield stress and strain rate

増加割合は、ひずみ速度が0.02%/min程度までは、試料Aの場合と同じくらいであるが、このひずみ速度を越えると、増加割合は急速に大きくなる。したがって、塑性指数の大きさにかかわらず、0.02%/minくらいまでの範囲のひずみ速度によって試験を実施する限り、圧密降伏応力の差は極めて小さいことがわかる。

図-9は、一般的な荷重段階である3.2, 6.4, 12.8, 25.6kgf/cm²に9.0kgf/cm²を加え、6荷重段階によって、試料Bを使用して実施した標準圧密試験の結果である。 $e \sim \log p$ 曲線(実線)から求められる圧密降伏応力の値は、9.6kgf/cm²となる。これに対して、付加した9.0kgf/cm²の荷重段階がない場合には、 $e \sim \log p$ 曲線は破線で示すようになり、この曲線から求められる圧密降伏応力の値は、7.2kgf/cm²となる。図-8に示した試料Bに関するひずみ速度が0.002%/min程度のときの圧密降伏応力の値は、9.2kgf/cm²となっており、6荷重段階によって求めた値とほとんど同じ値である。このことは、定規格の標準圧密試験によるよりも、定ひずみ速度圧密試験による方が、十分信頼できる値が得られることを示すものといえる。

② 定ひずみ速度圧密試験と標準圧密試験による $e \sim \log p$ 曲線の比較

この比較実験に使用した試料は、泉北地域から採取した洪積層の粘土で、つぎのような性質を示す。

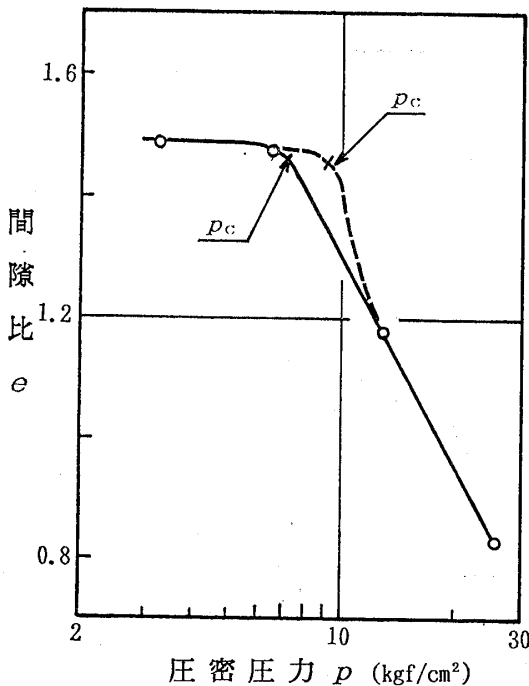


図-9 荷重段階を増加した場合の圧密試験結果
Fig. 9 Results of consolidation test of increased loading steps

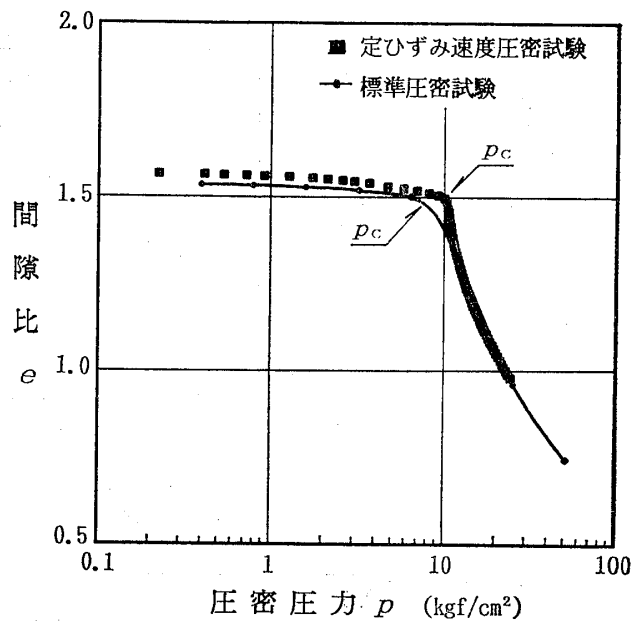


図-10 定ひずみ速度圧密試験と標準圧密試験による結果の比較

Fig. 10 Comparison of results obtained from constant rate of strain consolidation test and standard consolidation test

含水比 $w=54.0\%$
 液性限界 $w_L=95.2\%$
 塑性限界 $w_p=29.8\%$
 塑性指数 $I_p=65.4\%$

比 e が急激に減少し始める圧密圧力の近傍において、明らかな相違が認められ、これらの曲線から求められる圧密降伏応力 p_c の値は、定ひずみ速度圧密試験による方が大きい値となっている。

図-10は、上記の試料を用いて実施した定ひずみ速度圧密試験と標準圧密試験による $e \sim \log p$ 曲線を示したものである。この図に示すように、両曲線の形状は、間隙

これは、標準圧密試験においては、 $e \sim \log p$ 曲線を描く際に、圧密圧力のわずかな変化に対して、間隙比が大きく変化する近傍の載荷荷重の間隔が粗過ぎるためであ

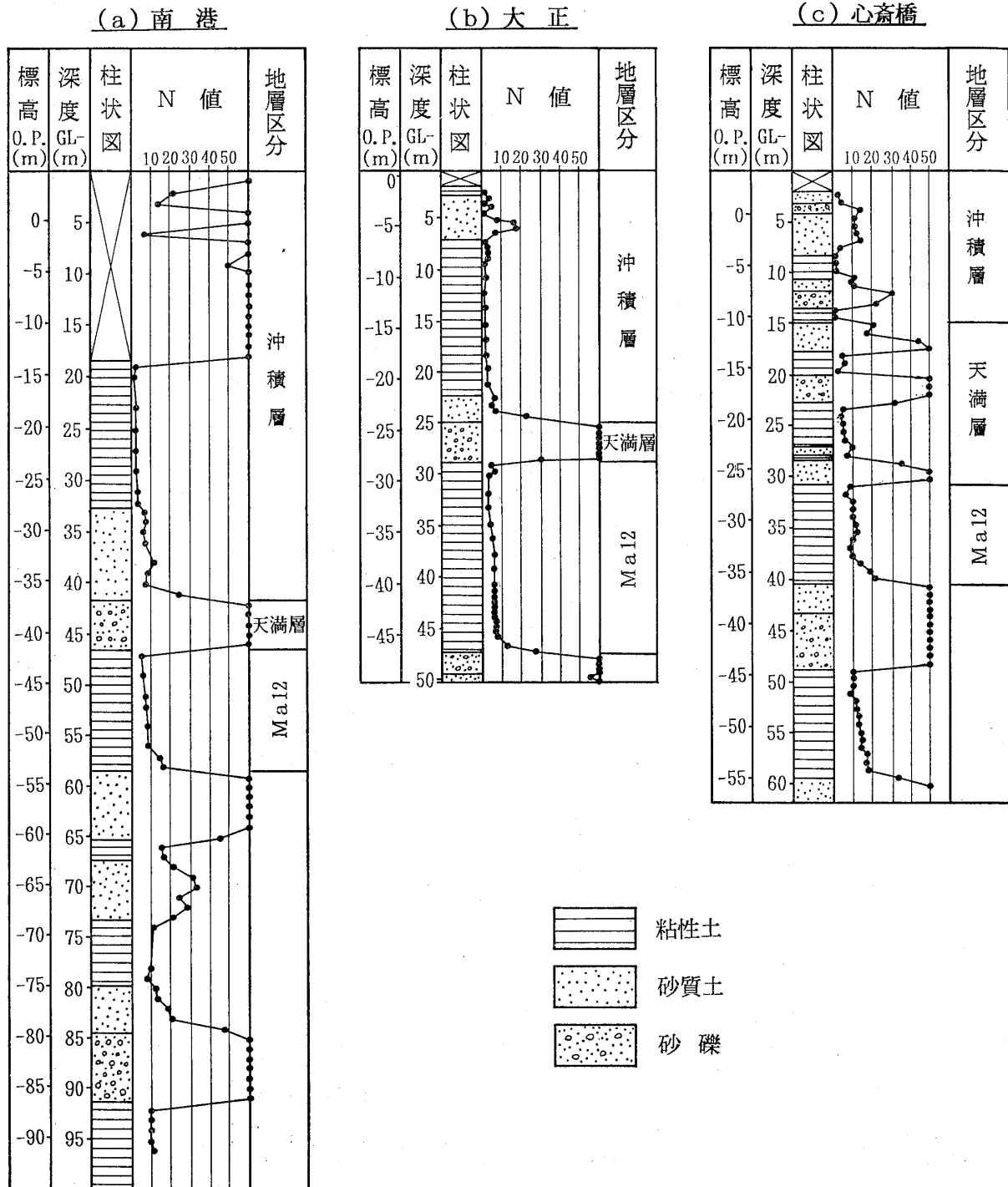
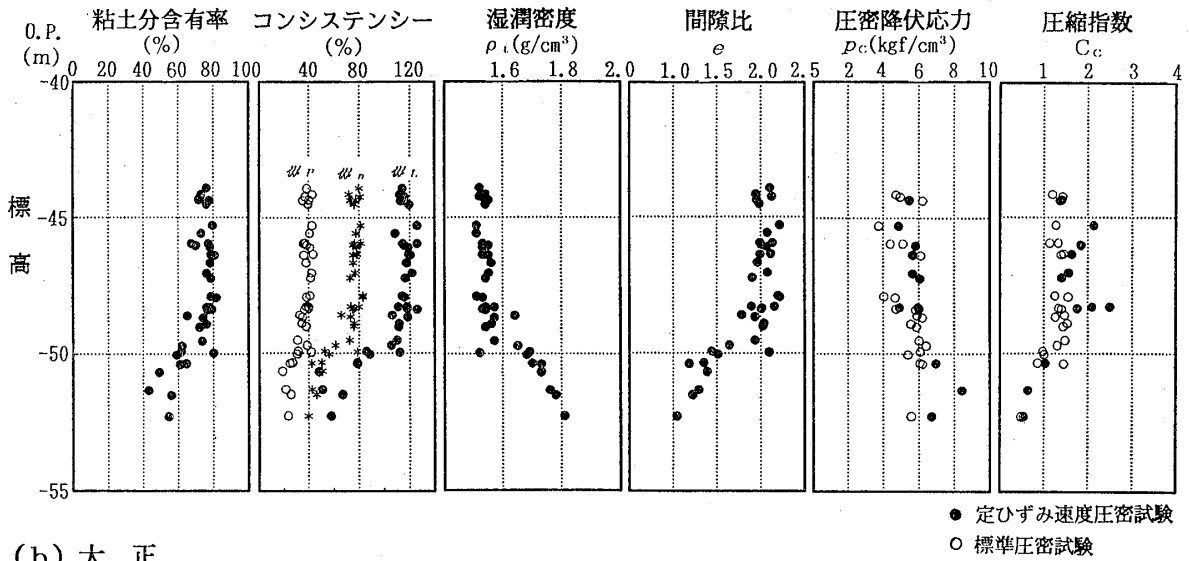
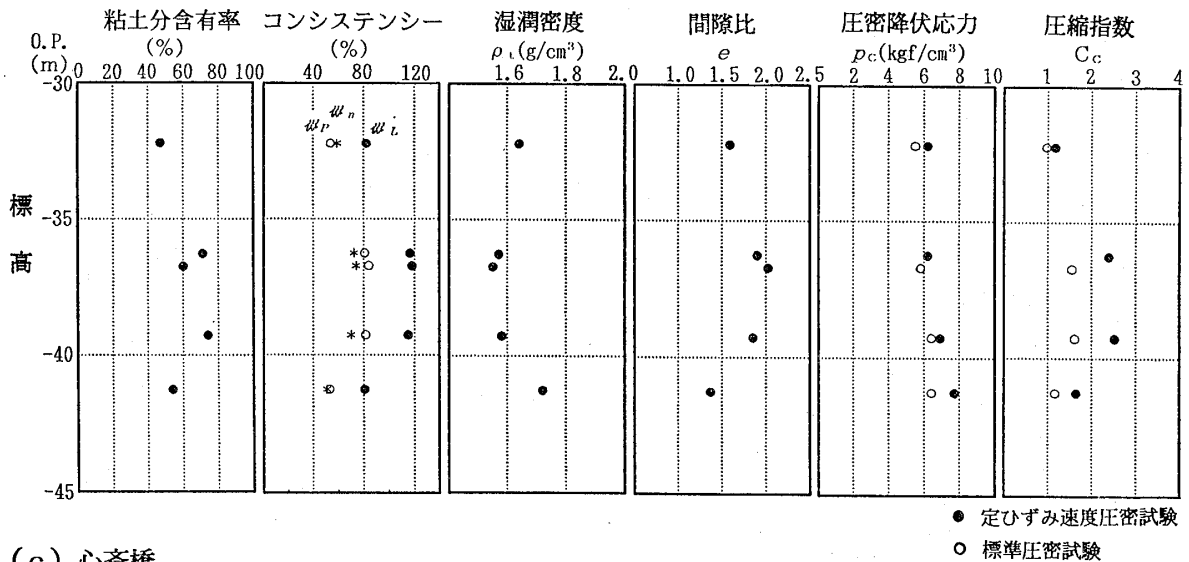


図-11 試料採取地点の土質柱状図
 Fig.11 Borehole logs at sampling sites

(a) 南港



(b) 大正



(c) 心斎橋

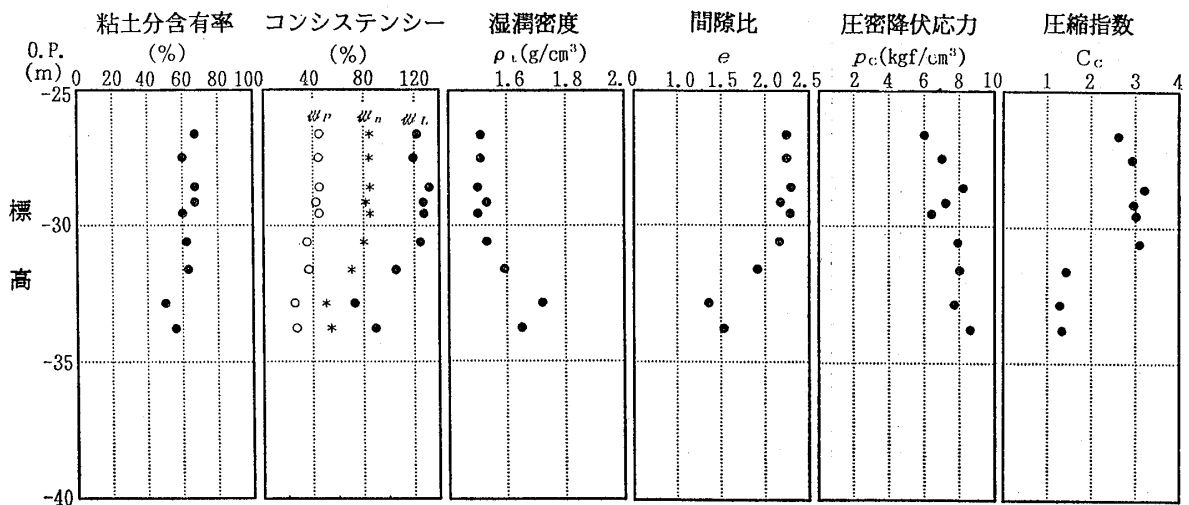


図-12 試料採取地点の土性図

Fig.12 Soil property charts at sampling sites

る。これに対して、定ひずみ速度圧密試験の場合は、連続荷方式であるため、荷重間隔が粗過ぎるというような不都合は起きず、精度よく圧密降伏応力の値を決定することができる。

4 Ma12の圧密特性

4・1 試験試料の物理特性および圧密特性

さきに述べた定ひずみ速度圧密試験装置を使用して、Ma12の圧密試験を行うに当っては、南港、大正および心齋橋の3箇所(図-1参照)において採取した試料を用いた。南港は大阪平野の沿岸部の埋立地、心齋橋は内陸部、大正はそれらの中間に位置している。試料を採取した地点の地質柱状図を図-11に示す。

採取した試料の物理特性(粘土含有率、コンシステンシー、湿潤密度、間隙比)および圧密特性(圧密降伏応力、圧密指数)について、縦軸に標高をとって描くと、図-12に示すようになる。この結果によれば、3地点の試料の物理特性および圧密特性はかなり似かよった値を示している。これに対して、いずれの箇所においても、Ma12の上部と下部において、特性が若干異なっているようである。この相違は、堆積する過程で浅海から深海へと堆積環境が変化し、下部ではシルト分が多く、上部ではシルト分が少なくなったためと考えられる。

4・2 圧密降伏応力について

南港、大正および心齋橋の3箇所の試料から得られた圧密降伏応力と(その圧密圧力のときの)間隙比の関係を図-13に示す。この図には、南港と大正のMa12および南港の沖積粘土に対する標準圧密試験による値を記入してある。図中の p_{cc} および p_{cs} は、それぞれ定ひずみ速度圧密試験および標準圧密試験による値を表す。

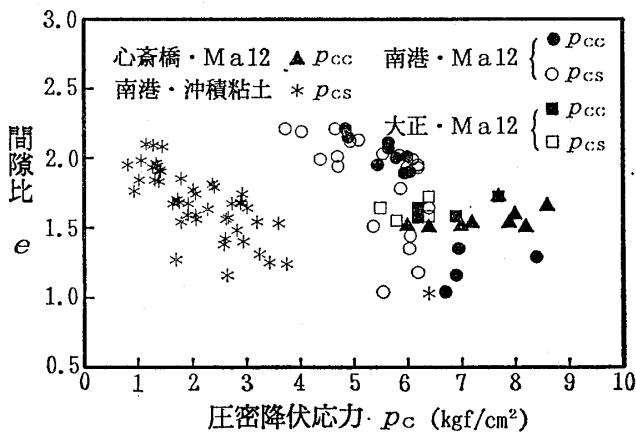


図-13 圧密降伏応力と間隙比との関係
Fig. 13 Relationship between consolidation yield stress and void ratio

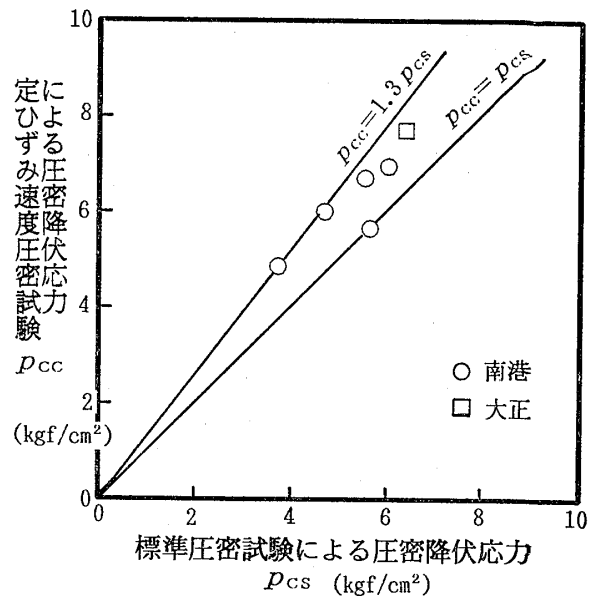


図-14 標準圧密試験と定ひずみ速度圧密試験による圧密降伏応力の比較

Fig. 14 Comparison of consolidation yield stresses obtained from standard consolidation test and constant rate of strain consolidation test

沖積粘土の間隙比は、1.2~2.2の範囲の値を示している。一方、Ma12の間隙比は、試料採取箇所による違いは見られず、1.1~2.3の範囲にある。両者を比較するとき、Ma12は洪積層であるにもかかわらず、沖積層とほとんど同じで比較的大きな値を示しており、このことはMa12の大きな特徴である。これに対して、標準圧密試験による圧密降伏応力(p_{cs})の値を比較すると、沖積粘土が0.8~3.8kgf/cm²の範囲の値を示しているが、Ma12は3.8~6.4kgf/cm²の範囲にあり、明らかな相違を示している。さらに、定ひずみ速度圧密試験による圧密降伏応力(p_{cc})の3箇所の値を比較すると、内陸部ほど大きな値を示す傾向が認められる。

さらに、同じ試料から得られた p_{cc} と p_{cs} の関係を求めると、図-14に示すようになる。したがって、データ数が少ないきらいはあるが、

$$\frac{p_{cc}}{p_{cs}} = 1.0 \sim 1.3$$

となり、標準圧密試験よりも定ひずみ速度圧密試験による圧密降伏応力の値の方が、3割程度大きくなることもあることを知ることができる。

4・3 圧縮指数

圧縮指数 C_c は液性限界 w_L と密接な関係があり、こ

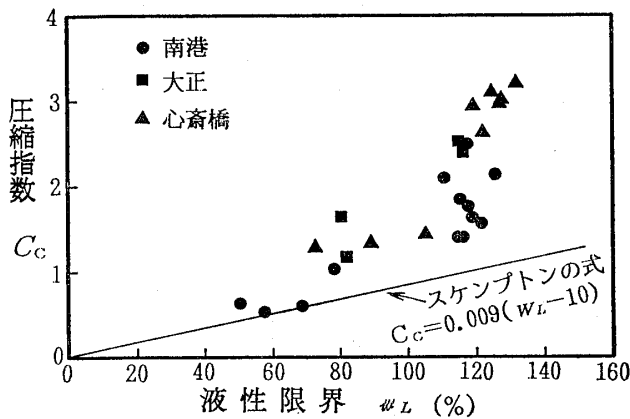


図-15 圧縮指数と液性限界との関係
Fig.15 Relationship between compression index and liquid limit

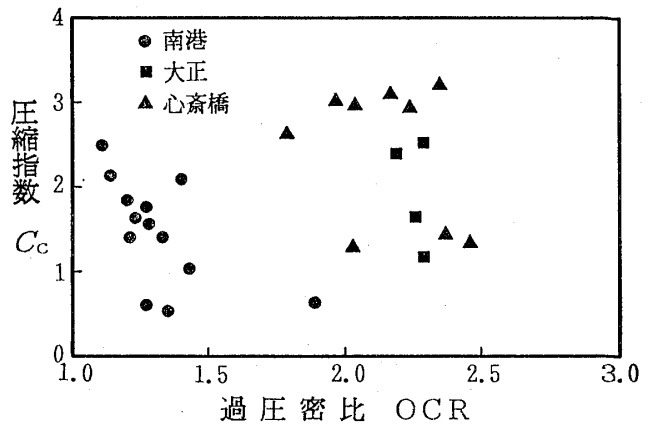


図-17 圧縮指数と過圧密比との関係
Fig.17 Relationship between compression index and overconsolidation ratio

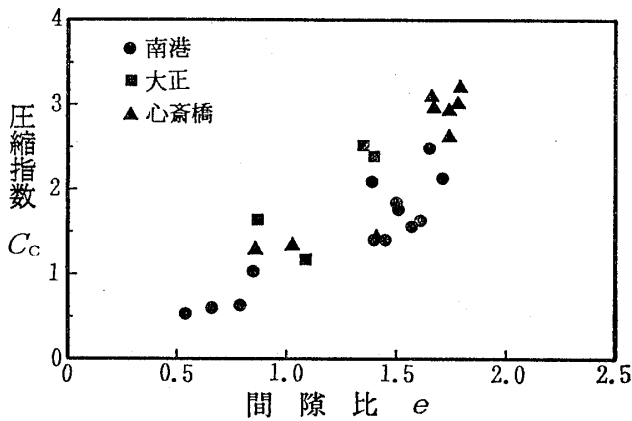


図-16 圧縮指数と間隙比との関係
Fig.16 Relationship between compression index and void ratio

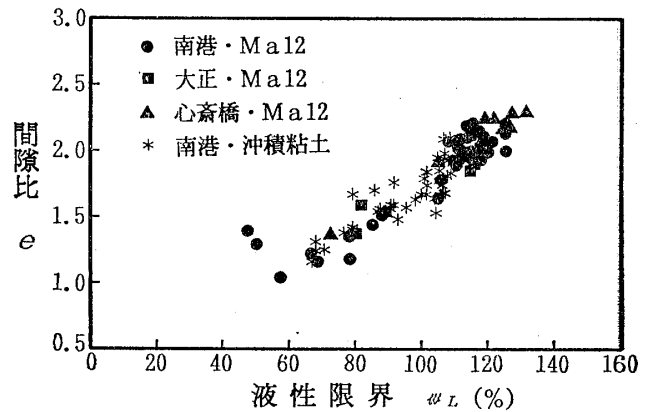


図-18 液性限界と間隙比との関係
Fig.18 Relationship between liquid limit and void ratio

れらを用いて概略の沈下解析を行う場合には、スケンプトンが提案しているつぎの式が一般に使用されている。

$$C_c = 0.009 (w_L - 10)$$

図-15は、南港、大正および心斎橋の試料から得られた圧縮指数 C_c と液性限界 w_L の関係を示したものである。この図には、上記のスケンプトンの式を記入してある。この結果によると、圧縮指数の値は、液性限界が70%までは、スケンプトンの曲線上にあるが、70~110%の範囲では、スケンプトンの式が示す圧縮指数の値よりも平均的には、0.5程度大きくなり、1.0~1.6の範囲の値を示している。110%を越えると急激に増大し、圧縮指数と液性限界との間に有意な関係が認められなくなる。したがって、Ma12に関しては、スケンプトンの式を適用できないことになる。

圧縮指数と間隙比の関係を図-16に示す。この関係においても、図-15に示した液性限界の区分に対応して、

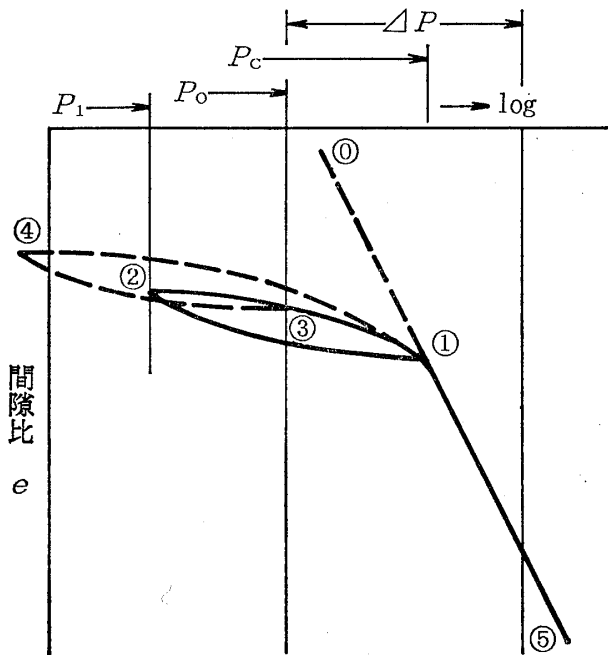
間隙比が1.3以下、1.4~1.6、1.8以上の3つのグループに分けることができ、間隙比が1.8を越えると、圧縮指数は急激に増大している。

さらに、圧縮指数と過圧密比 (OCR) の関係は、図-17に示すようになり、明瞭な関係は認められない。

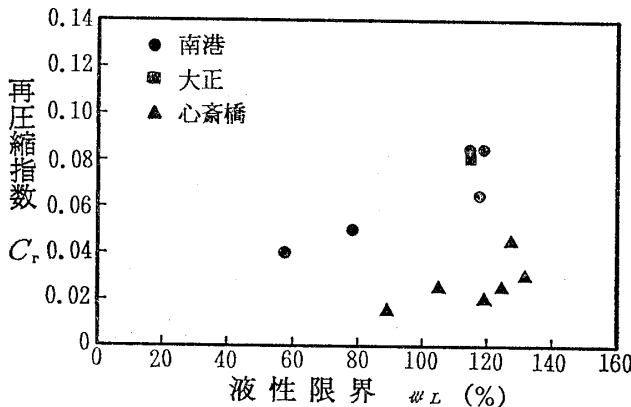
一方、図-18は、物理的性質である液性限界と間隙比との関係を求めたものである。この結果によると、液性限界と間隙比の間には、比較的良好な相関性が認められ、また、沖積粘土とMa12の間には差異はないものと考えられる。

4・4 繰返し圧密試験による再圧縮係数

圧密試験によって得られた $e \sim \log p$ 曲線を用いて、過圧密領域における沈下量を求めると、しばしば過大な値を得ることがある。この原因は、つぎのように考えられる。地中から採取された土は、サンプリングおよび整形の過程で応力解放を受けて膨張する。したがって、圧



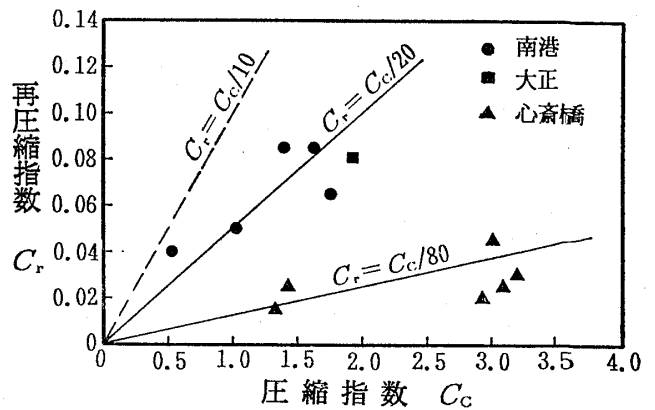
図一19 応力の変化に伴う土の間隙比の変化
Fig.19 Change of void ratio caused by change of stress state



図一20 再圧縮指数と液性限界との関係
Fig.20 Relationship between recompression index and liquid limit

密試験は、このような膨張した試料を用いて行われることになるので、地中における拘束された状態から進行する圧密の現象とは、本質的に異なったものとなる。

自然状態における地盤の圧縮過程は、図一19に示すように、④→①→⑤の曲線で表される。ある時点に応力 p_0 によって十分に圧密された後に、地表面の侵食あるいは地下水位や海面の上昇などによって、有効応力が p_1 まで減少したとすると、土は膨張して①→②の経路をたどる。その後新しい地層が堆積し、現時点における有効土被り応力 p_0 に達したとすれば、②→③の経路をたどることになる。



図一21 再圧縮指数と圧縮指数との関係
Fig.21 Relationship between recompression index and compression index

有効土被り応力 p_0 を受けている地盤から、ボーリングによって乱さない試料を採取して、供試体を整形する際には、応力の解放によって、③→④の経路をたどり、土は膨張する。したがって、このような状態にある土に対して圧密試験を実施することになり、試験の結果は、④→①→⑤の過程における圧密特性を示すことになる。

しかし、地盤内における圧密の進行は、③→①→⑤の過程を経るものと考えられる。したがって、地中の過圧密領域における真の沈下量を求めるためには、あらかじめ p_0 を求めておいて、④→①→③→①→⑤の過程を経る“繰返し圧密試験”*によって求められた圧密特性を用いることが必要である。

定ひずみ速度圧密試験装置を用いた繰返し圧密試験によって得られた再圧縮指数 $C_{r^{**}}$ と液性限界 w_L の関係は、図一20に示すようになる。南港、大正および心斎橋、それぞれについて、液性限界が大きくなるにしたがって再圧縮指数も大きくなっているが、試料の採取箇所による違いは明瞭である。

図一21は、再圧縮指数 C_r と圧縮指数 C_c との関係を示したものである。この場合も、図一20に示した場合と同様に、試料の採取箇所による違いは明瞭である。

再圧縮指数の圧縮指数に対する比 C_r/C_c は、南港および大正の試料では約 1/20、心斎橋の試料では約 1/80 となっている。また、建築基礎構造設計指針などでは、 $C_r/C_c=1/10$ という関係が提示されているが、Ma12 の場合は、この比が1/20以下になるようである。

つぎに、再圧縮指数 C_r と圧密降伏応力 p_0 の関係を

* 載荷過程に、除荷—再載荷過程を含む圧密試験
** 除荷—再載荷過程における $e \sim \log p$ 曲線の勾配から求めた圧縮指数

図-22に示す。この結果によると、圧密降伏応力が大きくなると、再圧縮指数は直線的に減少し、圧密降伏応力と再圧縮指数の間に直線関係が成立するようにみえる。

しかしながら、図-20および図-21において考察したように、南港および大正の試料と心齋橋の試料とは異なる関係を示しており、同一母集団ま試料として扱うことには疑問がある。このような視点から図-22の分布をみると、

	再圧縮指数 C_r	圧密降伏応力 $p_c(\text{kgf/cm}^2)$
南港・大正	0.04~0.09	5.5~7.0
心齋橋	0.01~0.05	6.4~8.7

となっており、この場合も、この両箇所の試料は異なる母集団のものとして考えるのが妥当と思われ、両者の関係を単純に結論づけることは避けるべきであろう。

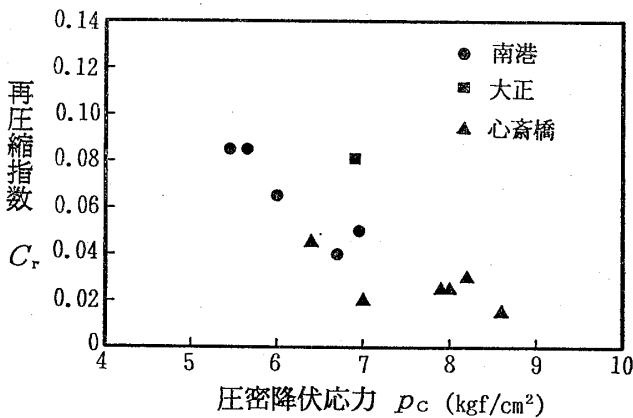


図-22 再圧縮指数と圧密降伏応力との関係
Fig.22 Relationship between recompression index and consolidation yield stress

4・5 長期圧密試験による二次圧密係数

圧密沈下量を予測する場合、上載荷重が一定のもとで圧密沈下が進行する、いわゆる二次圧密の現象がしばしば問題となる。この二次圧密現象に対しては、長期圧密試験を実施して、所定の荷重段階における二次圧密係数 C_α を求めることが一般に行われている。なお、二次圧密係数 C_α は、図-23に示す諸量を用いて、つぎの式によって求められる。

$$C_\alpha = \frac{\Delta \epsilon}{\log(t_2/t_1)}$$

二次圧密係数に影響を及ぼす要因としては、土の含水比、試験荷重と圧密降伏応力との比（以下では応力比と

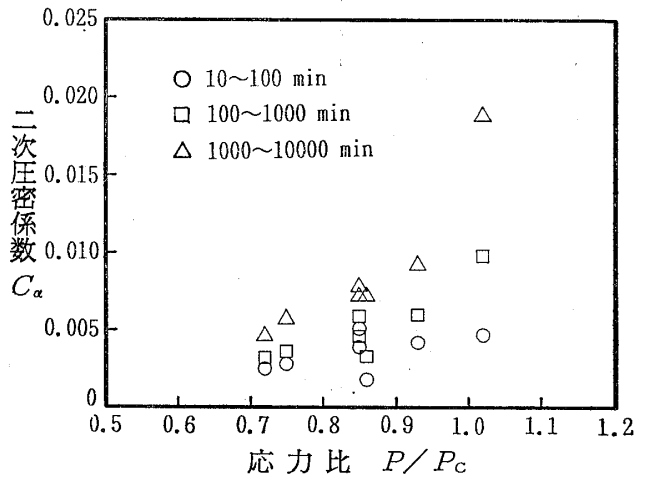


図-24 Ma12 に対する二次圧密係数と応力比との関係
Fig.24 Relationship between rate of secondary consolidation and stress ratio p/p_c of Ma12

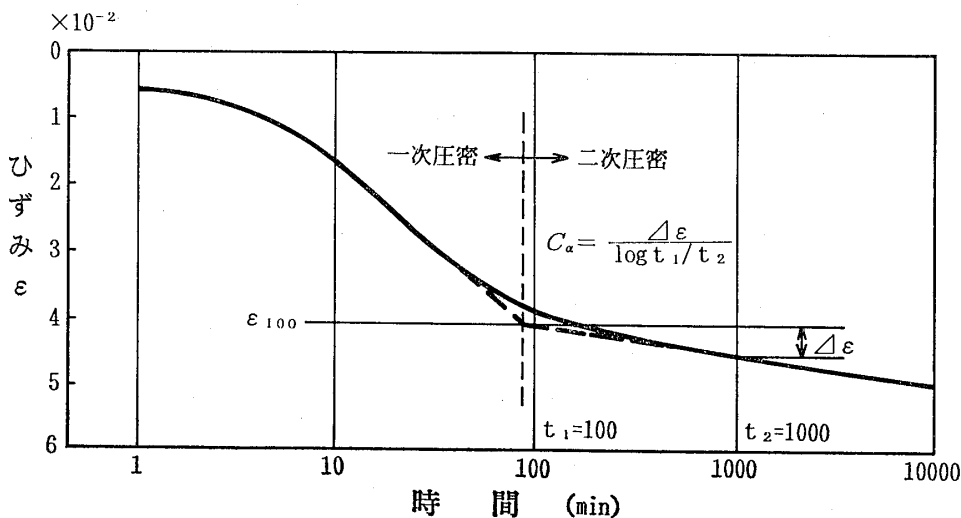


図-23 二次圧密係数 C_α の求め方
Fig.23 Method of obtaining rate of secondary consolidation

称し p/p_c と記す), 荷載時間などがあげられるが, これらのうち応力比が最も大きな要因と考えられる。

図一24は, Ma12に関する試験によって求められた二次圧密係数 C_c と応力比 p/p_c の関係を示したものである。森田(1988)によれば, 大阪の粘性土(主に沖積層)では, 応力比が0.6を越えると二次圧密係数の値が増加する傾向を示すと報告されているが, 図一24によれば, 応力比の範囲は0.7~1.0と比較的小さいが, 応力比が大きいほど, 二次圧密係数も大きくなる傾向があるようである。

5 あとがき

近年建設される構造物が大規模になってきたこと, また大深度で施工されることなどのために, 大阪平野に分布する上部洪積粘土層の最も新しい地層であるMa12が工学的な検討対象となることが多くなり, その土質工学的な特性を詳細に把握することが必要となってきた。

この報文においては, 大阪湾東部地域の沿岸部と内陸部において採取したMa12の圧密特性を定ひずみ速度圧密試験の結果などをもとにして, 若干の考察を行った。その結果, つぎのことが判明した。

- ① 間隙比は, 沖積粘土と同程度であるが, 圧密降伏応力は, 沖積粘土よりも明らかに大きい値を示す。圧密降伏応力 p_c は3.8~6.4kgf/cm²の範囲にあり, 内陸部の方が大きい値を示す傾向が認められる。
- ② 圧縮指数 C_c は, スケンプトンの式によって液性限界から推定される値よりも大きい値を示す。とくに, 液性限界110%以上(間隙比1.8以上)になると, 圧縮指数は急激に増大する。
- ③ 過圧密領域における圧縮性の指標となる再圧縮指数 C_r は, 試料を採取した場所によって明瞭な違いがみられ, 内陸部の方が小さい値となっている。また, 再圧縮指数の圧縮指数に対する比 C_r/C_c は, おおむね1/20以下となっている。
- ④ 二次圧密係数 C_c は, 応力比 p/p_c が0.7~1.0の範囲では漸増するようであるが明瞭ではない。

以上述べたMa12の圧密特性は, 限られた試験データをもとにして整理したものであり, 地域による圧密特性の差異や諸定数の間の関係などについても, さらに検討しなければならない多くの課題が残されている。今後, 試験方法の工夫を続けるとともに, 試験データの蓄積を計り, その特性を明らかにしたいと考えている。

また, Ma12の下位に分布する他の大阪層群の海成粘土についても, すでに, 沈下予測などの対象とされつつ

あり, これらの粘土層についての圧密特性の評価も重要な課題と考えている。

参 考 文 献

- 土質工学会関西支部大阪湾海底の地盤研究委員会(1990)
: 大阪湾海底地盤 pp.108~137.
- 善 功企, 西江俊作, 日下部伸, 土田 孝(1988): 定ひずみ速度圧密試験について 土質工学会 特殊圧密試験方法に関する研究委員会 特殊圧密試験に関するシンポジウム発表論文集 pp.27~46.
- 伊東徳二郎, 沢田好幸, 畠山正則(1990): サーボ制御による定ひずみ速度圧密試験装置の開発 土質工学会 新しい調査・計測技術に関するシンポジウム発表論文集 pp.171~176.
- 森田悠紀雄, 笹尾憲一, 安原一哉, 鈴木堂司, 平野孝行(1988): 過圧密粘土の長期圧密特性 土質工学会 新しい調査・計測技術に関するシンポジウム発表論文集 pp.187~191.
- 梅原靖文(1983): 土の圧密特性とその試験法に関する研究 港湾技術資料
- 梅原靖文, 松本一明(1974): 連続載荷方式による急速圧密試験について 第9回土質工学研究発表会 昭和49年度発表講演集 pp.115~118.

応用地質年報 No. 14

〈非売品〉

平成 5 年 3 月 20 日 発 行

編 集 応用地質株式会社企画部

発 行 者 陶 山 國 男

発 行 所 応用地質株式会社

〒 102 東京都千代田区九段北 4-2-6 市ヶ谷ビル

電 話 03 (3234) 0811 FAX 03 (3263) 6854

印 刷 所 高千穂プリント株式会社

©応用地質株式会社 1992

(無断転載を禁ず)

