

国土交通省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE

MINISTRY OF LAND, INFRASTRUCTURE AND TRANSPORT

VOL.40

NO.2

June 2001

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P. H. R. I.)

第 40 卷 第 2 号 (Vol. 40, No. 2), 2001年6月 (June 2001)

目 次 (CONTENTS)

1. 浚渫泥土を利用した貧配合セメント処理土の力学特性および材料特性
..... 渡部要一・土田 孝・引屋敷英人・古野武秀 3
(Mechanical and Material Properties of Dredged Soil Treated with Poor Quantity of Cement
..... Yoichi WATABE, Takashi TSUCHIDA, Hideto HIKIYASHIKI,
and Takehide FURUNO)

2. 分割型圧密試験による構造を有する洪積粘性土の圧密挙動
..... 姜 敏秀・土田 孝・渡部要一・田中洋行・宮島正悟 23
(Consolidation Behavior of Osaka Pleistocene Clay with Well-developed Structure by
Separated-type Consolidometer of High Capacity
..... Minsoo KANG, Takashi TSUCHIDA, Yoichi WATABE,
Hiroyuki TANAKA and Shogo MIYAZIMA)

3. 付加構造物による大型浮体の弾性応答低減
..... 飯島一博・白石 悟・珠久正憲・井上俊司・田中一郎 45
(Response Reduction of Hydroelastic Response of Large Floating Structures in Waves
by Use of Attachment
..... Kazuhiro IJIMA, Satoru SHIRAISHI, Masanori SHUKU,
Syunji INOUE and Itirou TANAKA)

分割型圧密試験による構造を有する洪積粘性土の圧密挙動

姜 敏秀*・土田 孝**・渡部 要一***・田中 洋行****・宮島 正悟*****

要 旨

大深度による高い土被り圧の条件とともに、長期間に渡って年代効果の影響を受けた大阪湾洪積土は、一般の沖積粘土に比べて数倍ないし数十倍の高い圧密降伏応力を有している。洪積粘土の圧密では、圧密降伏応力を境にして急激に沈下が生じることが報告されているが、このような圧密挙動に関しては、いまだ未解明の点が少なくない。

いくつかの研究グループにより実施されてきた既応の分割型圧密試験では圧密理論の実験的な検証を主な目的として再構成試料あるいは正規圧密粘土を対象としてきたが、年代効果およびセメンテーション効果などにより、発達した構造を有する粘土を対象とした研究は非常に少ない。また粘土の構造に関する研究は主に微視的な調査方法、すなわち電子顕微鏡やポロシメーターなどによって実施されているが、力学試験による調査は未だに研究資料が不足し、未解明な点も多い。

そこで本研究では高い降伏応力を有する大阪湾洪積粘土の圧密特性を調べるために非常に高い剛性を有する港研式高圧分割型圧密試験機を新たに開発し、それを用いて分割された試料に対する経時的な層別圧密挙動および間隙水圧の変化を計測した。また、一般的に行われる標準圧密試験と定ひずみ圧密試験を行い、これらの結果との比較を行った。その結果、圧密圧力の変化に従う大阪湾洪積粘土のユニークな圧密挙動が観測された。

キーワード：分割型圧密試験，圧密，大阪洪積粘土，年代効果，二次圧密，降伏応力

*土質部土性研究室客員研究員(STAフェロー)

**土質部土性研究室長

***土質部主任研究官

****土質部地盤調査研究室長

*****前関西国際空港(株)工務部(現土質部主任研究官)

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省港湾技術研究所

電話：0468-44-5053 Fax：0468-44-4577 e-mail:mshkang@cc.phri.go.jp

Consolidation Behavior of Osaka Pleistocene Clay with Well-developed Structure by Separated-type Consolidometer of High Capacity

Minsoo KANG*
Takashi TSUCHIDA **
Yoichi WATABE ***
Hiroyuki TANAKA****
Shogo MIYAZIMA*****

Synopsis

Large-scale land reclamation projects and other projects in the Osaka offshore area, such as construction of an artificial island for a new airport, have required a new look at the consolidation characteristics of Pleistocene clay layers which have not been considered for the design. Many investigations of Osaka Pleistocene clay, which forms the uppermost part of the soil profile where the Kansai International Airport is being built, have been carried, especially an effect of soil structure on the characteristics of consolidation behavior. Osaka Pleistocene clay shows a remarkable increase in compressibility when the overburden pressure exceeds the preconsolidation pressure due to a well-developed in-situ soil structure. It is, therefore, necessary to adopt sophisticated test methods to better understand the development of deformation and porewater pressure for this type of clay retaining peculiar compressibility characteristics. In this study, a specially designed separated-type consolidometer in which the soil layer is divided into five inter-connected subspecimens, is used. Due to the high preconsolidation pressure of Osaka Pleistocene clay, the separated-type consolidometer was specially designed to allow for pressure as high as 5Mpa. Tests revealed a unique consolidation behavior especially at the loading stage exceeding preconsolidation pressure where the compressibility of soil is drastically increased and dissipation of excess porewater pressure is highly affected by yielding of the soil structure.

Key Words: Separated-type consolidometer, consolidation, Osaka Pleistocene clay, yielding pressure

*Visiting Scientist of Soil Mechanics Laboratory, Geotechnical Engineering Division(STA Fellow)

**Chief of Soil Mechanics Laboratory, Geotechnical Engineering Division

***Senior Research Engineer, Soil Mechanics Laboratory, Geotechnical Engineering Division

****Chief of Site Investigation Laboratory, Geotechnical Engineering Division

*****Former Engineer, Kansai International Airport, Co. Ltd., Department of Public Duties
(Senior Research Engineer, Geotechnical Engineering Division)

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826, Japan

Phone : +81-468-445053 Fax : +81-468-444577 e-mail:mksang@cc.phri.go.jp

目 次

要 旨	23
1. まえがき	27
2. 分割型圧密試験の概要および試験装置	27
2.1 分割型圧密試験の概念	27
2.2 試験装置の概要	28
2.3 試験手順	29
2.4 試験対象試料の位置と種類および物理特性	30
2.5 供試体の厚さの決定	30
2.6 試験条件	31
3. 分割型圧密試験の試験結果	32
3.1 時間によるひずみおよび過剰間隙水圧の変化	32
3.2 有効応力と間隙比の関係	35
3.3 二次圧密係数	39
3.4 体積圧縮係数と圧密係数	40
3.5 圧縮変形量と間隙水圧の等時曲線	40
4. 結論	43
5. あとがき	44
謝 辞	44
参考文献	44

1. まえがき

大深度による高い土被り圧の条件とともに、長期間に渡って年代効果の影響を受けた大阪湾洪積粘土は、一般の沖積粘土に比べて数倍ないし数十倍の高い圧密降伏応力を有している。そのため過去の沿岸部の建設工事では、洪積粘土層を支持層として扱うことが多かった。

しかし近年、沖合いでの積極的な地盤利用が進み現実化することと共に、人工空港島の建設に代表されるように構造物の大型化、建設地点の大水深化によって洪積粘土層の圧密沈下が設計上または施工上から問題となる場合が増加してきた。

特に洪積粘土の圧密では、その圧密降伏応力を境にして急激に沈下が生じる特徴が最近の研究により指摘されている。これに対して、洪積粘土層は土被り圧が大きいことに加えて堆積年代が古いことから、セメンテーションなどにより発達した骨格構造を持っていることが推測されているが、このような構造を有する土の圧密挙動に関しては、いまだ未解明の点が少なくない。

そこで本研究では、このような構造を有する大阪湾洪積粘土の圧密挙動を検討するため、新しく開発された高容量の分割型圧密試験機を利用して、大阪洪積粘土の粘土層内部の変形および過剰間隙水圧分布特性を詳しく調べた。その結果、大阪洪積粘土の過圧密領域と正規圧密領域における圧密挙動には明確な差異が確認されたと共に、過圧密領域から正規圧密領域に移行する過程において、特徴的な圧密挙動が観察された。

2. 分割型圧密試験の概要および試験装置

分割型圧密試験は複数の圧密試料の排水経路をつなぐカップリング(coupling)方法によって、試料の高さによる圧密挙動の特性を把握するため考案された特殊な試験の一つである。分割型圧密試験はBerreとIversen(1972)が18.8mmから450mmまでの4つの厚さが違う不攪乱のDrammen粘土に対して圧密試験を行う際、450mmの厚さを決めるため高さ150mmの粘土試料を3つつないだ分割型試験を用いた。しかし、Mesri(1977)は彼らのデータの信頼性が不足していると意見を出している。MesriとChoi(1985)はSaint AlbanとLouiseville粘土を用いて、三軸試験セルにセットされた125mmの不攪乱試料を4つつないだ方法で長期分割型圧密試験を行った。通常のオedometerを直列につないだ形式の分割型圧密試験装置とその実験結果は、網干ら(1978, 1980)や今井ら(1986)によって報告されている。筆者らが対象とした試料は大深度から採取した洪積

粘土であるので、網干らや今井らの用いた低容量(空圧による載荷のため圧密圧力は1MPa以下)の分割型圧密装置を参考に、5MPaの圧密圧力が載荷可能な高容量の港研式分割型圧密装置を新たに作製した。

2.1 分割型圧密試験の概念

港研式分割型圧密試験機は、圧密容器を直列につないだもので、層厚の大きい試料の圧密試験を分割して行うことができる。分割型圧密試験の概念図を図-1に示す。図のように、1つの供試体を数層に分割して、各分割層での圧密沈下量および間隙水圧の測定が可能になっており、圧密中の粘土層内部の状態変化を知ることができる。既存の分割型圧密試験では、主に実験室で作製した再構成圧密試料あるいは正規圧密状態の軟弱粘土を対象としているため、高い圧密圧力を必要としなかった。しかし、本研究で対象としている大阪湾洪積粘土は、大深度の粘土層から採取した試料であるため、通常の圧密試験で適用されている荷重範囲を超えて載荷する必要がある。そこで本研究では、低容量の分割型圧密試験機を参考に改良を加え、最大5MPaの圧密圧力が載荷可能な高容量の分割型圧密試験機を作製した。

高容量の分割型圧密試験機の満足すべき条件は、試験機の剛性、軸変位の測定精度、ピストンや連結部の気密性、間隙水圧の測定精度の高さである。各分割供試体を連結して一つの粘土層とみなすためには、各分割容器の連結部分の剛性は特に重要である。また、高容量の圧密圧力を得るために使用する増圧器の封圧流体が水であるため、軸変位を測定する変位計には耐圧・耐水性が要求される。

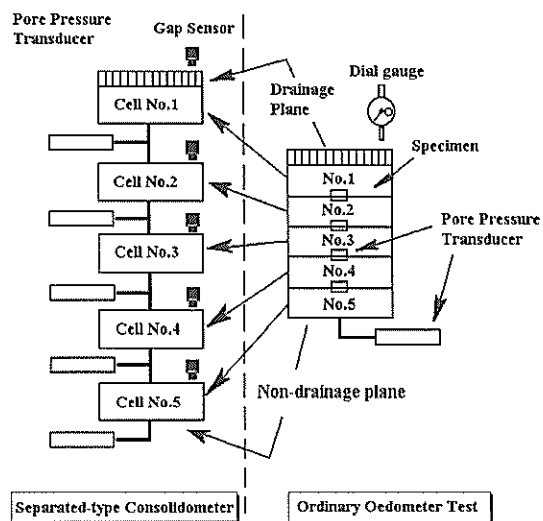


図-1 分割型圧密試験の概念図

本研究で開発された港研式分割型圧密試験機は以上のことに留意して作製された。

2.2 試験装置の概要

図-2は、分割圧密容器を示している。分割圧密容器は、容器、圧密リング、ポーラスメタル等すべての部品において、その剛性を高めてある。さらに、高圧密圧力を載荷するため、側圧供給用のパイプおよび各分割圧密容器の連結部分には、銅パイプを用いている。各分割圧密容器の連結部分は、パイプの膨張などによる圧力損失が試験結果に与える影響を極力小さく、かつ一定にするため、必要最小限の同一の長さにしてある。

各分割層の間隙水圧測定は、供試体の上・下面をそれぞれ連結した部分、および非排水端に位置する供試体の非排水面で測定した。各分割層では、圧密時に上向きに水が排水され、最後の分割層の上部が排水端となっている。また、間隙水圧の測定精度を高めるために、背圧を付与し気泡を除去して飽和度を上げられる構造となっている。

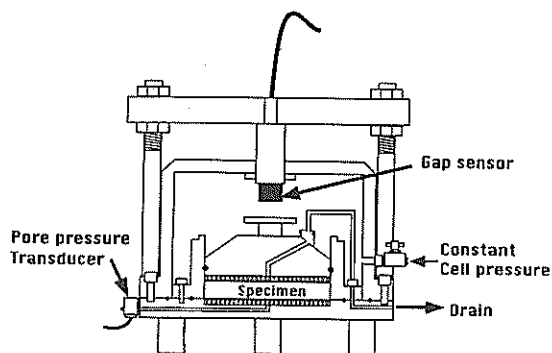


図-2 分割型圧密容器

軸変位の測定は、耐圧・耐水性で実績がある非接触型のギャップセンサー（(株)電子応用製、変換器 AEC-5505, プローブ PU-05）を用いている。ギャップセンサーは、分割圧密容器上部の中心部分に、高さの調整が出来るように取り付けられており、そのターゲットは各載荷ピストン上端に設置してある。

リングの内面は、摩擦の低減を計るため、パフ加工によって鏡面仕上げされている。また、載荷ピストンに取り付けられた O-リングによって、供試体の外周部からの給排水は遮断されている。圧密リングの直径は標準圧密試験と同じく 60mm であり 4, 5, 10, 20mm の高さの試料が扱えるようにリング高さの高いリングを用いてい

る。

図-3に分割型圧密試験装置の全体システムを示す。分割圧密容器は 5 つ連結しており、分割圧密容器 No.5 の供試体下部が非排水面である。No.5 の供試体上部と No.4 の供試体下部を連結し、同様に No.3, No.2, No.1 を連結して、No.1 の供試体上部からのみ排水させ、排水量は二重管式ピュレットで測定している。

各分割供試体の間隙水圧の測定は、No.5 の供試体下部の非排水面と各分割層の連結部分に設置し、合計 5ヶ所で測定している。

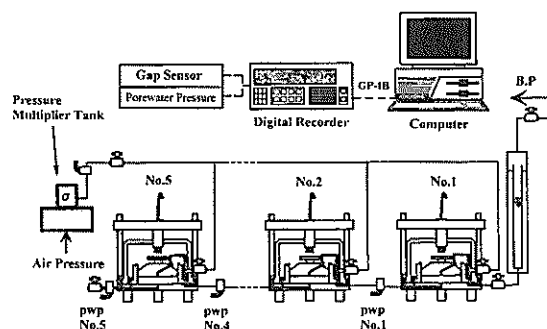


図-3 高圧分割型圧密試験機の構造

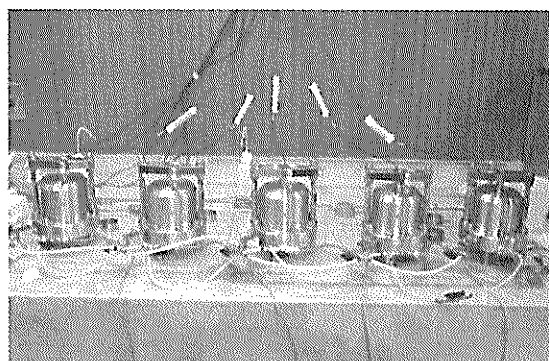


写真-1 高圧分割型圧密試験機

圧密圧力は、レギュレーターで調整した空気圧を、写真-2に示すように、断面積比 6 のペロフラムシリンダーを内蔵した増圧器を用いて水圧に変換し、各分割圧密容器に供給している。圧密圧力の測定精度を高めるため、増圧器の出力側に圧力センサーを設置し、その計測値を圧密圧力とした。なお、バイアスタックを設置することで、供試体の体積変化による圧力変化は、自動的に調整される。本装置では、最大 5MPa の圧密圧力の載荷が可能である。

圧密圧力、軸変位、間隙水圧の各測定値はいったんデ

ータロガーに取り込み、GP-IB ケーブルを介してコンピュータに転送される。

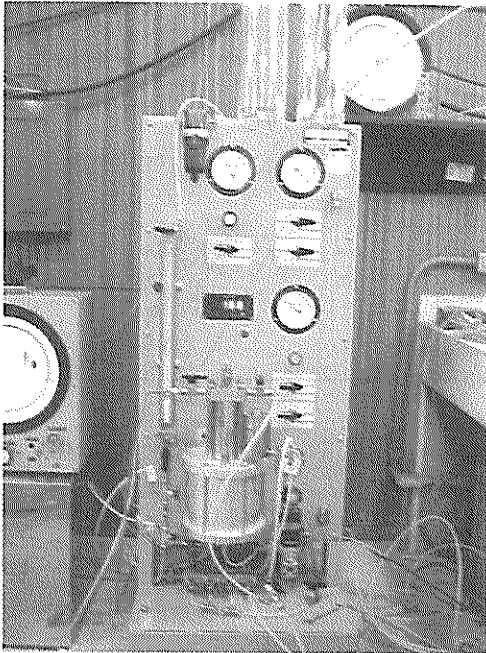


写真-2 コントロール部の増圧器

今回使用した各種測定器の容量および分解能を表-1に示す。軸変位(分解能 3.9×10^{-5} mm) および間隙水圧(分解能 8.6×10^{-2} kPa) は、本研究に必要な十分な精度を満たしていると言える。

表-1 各測定器の容量と分解能

種別	タイプ	容量	分解能
変位計	非接触型	3mm	3.9×10^{-5} mm
側圧計	ひずみケージ	5MPa	1.23kPa
間隙水圧計	同上	5MPa	8.6×10^{-2} kPa

今回作製した分割圧密容器の変位測定用のギャップセンサーは、圧密セルに上の反力板に取り付けていることから、圧密圧力の増加に伴って分割容器全体が変形することが予想される。洪積粘土では B 値が低いと考えられるので、B 値測定時の供試体の変位が重要となる。各圧密圧力段階の B 値測定時(圧密試験時は、セル圧一定な

ので容器の変形は問題ない。)の供試体変位を精度よく求める目的で、セル圧と圧密容器(反力板の変位)の変位を調べた。図-4に示した圧密圧力(側圧)と反力板の変位の関係を見ると、圧密圧力の増加と共に直線的に反力板の変位も増加し、圧密圧力 5MPa 時に 0.07~0.09mm 程度の変形があることがわかる。よって、B 値測定時の供試体の軸変位はこれらの関係の直線近似式により、各分割容器の毎に補正することとした。

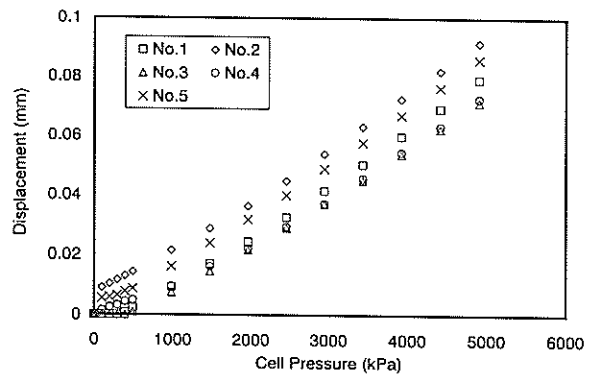


図-4 圧密圧力による試験容器の剛性

2.3 試験手順

今回行った分割圧密試験の試験手順の概略は以下のとおりである。

- ①標準圧密試験と同様にトリマーで成形した試料をシリコングリースを内側に塗布した圧密リングにセットする。
- ②あらかじめ分割容器間の連結部分等の排水系統および間隙水圧系統の空気を脱気水で取り除いておく。
- ③細粒分流失防止のための非圧縮性の網目状フィルターを上下排水用のポーラスメタルにセットし、間隙水圧計のゼロ点を取っておいた容器に供試体を設置する。
- ④分割圧密容器を組み立て、軸変位計のキャリブレーション値を取る。この状態で分割圧密容器に脱気水を満たし、増圧器およびバイアスタンクの空気抜きを行う。
- ⑤分割圧密容器に脱気水が満たされたら、載荷ピストンと供試体のゆるみを取り除くために予備圧密を行う(この時点で、各分割容器は連結していない)。供試体底部および供試体間で測定する間隙水圧が作用させた予備圧密圧力の95%以上に達したら、供試体上部から背圧を負荷し、予備圧密による排水を開始する。

⑥予備圧密が終了したら、各分割容器を連結して本圧密を開始する。圧密圧力の载荷は、排水バルブを閉じた状態で、目標とする圧密圧力までセル圧を増加させて、間隙水圧の増加が一定になったら、B値を測定した後に排水バルブを開いて圧密を開始する。その後は標準圧密試験と同様に圧密圧力を増加させ、前述した作業を繰り返す。

試験データの測定は、予備圧密圧力の段階から測定し、測定間隔は時間から沈下曲線および時間から間隙水圧消散曲線が滑らかにプロットできるようにコンピューターで制御している。

2.4 試験対象試料の位置と種類および物理特性

本研究で用いた試料は、大阪湾泉州沖より採取された不攪乱試料である。調査地点は図-5に示す位置で、深さ400mにも及ぶボーリングが行われた。平均水深は19.5mであり、原位置地盤は、沖積粘土層が約25m堆積しており、その下に洪積砂礫層と洪積粘土層が交互に堆積している。

表-2は、試験に使用した試料の物理特性をまとめたものである。本研究では、粘土層の中でもMa9層の一部(CDL-162~172m)に着目して試験を行った。その理由としては大阪湾洪積粘土の過圧密比OCRが約1.3であるが、関西国際空港2期事業における埋立土による荷

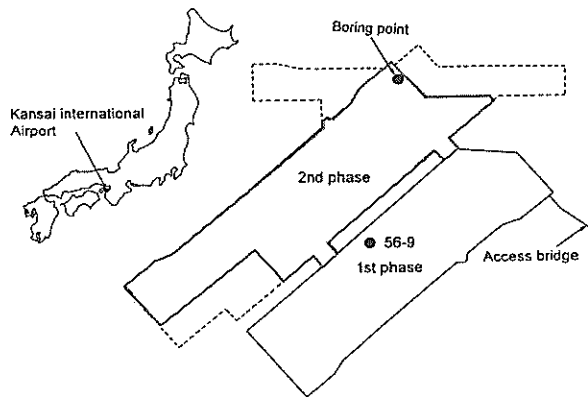


図-5 試料採取位置図

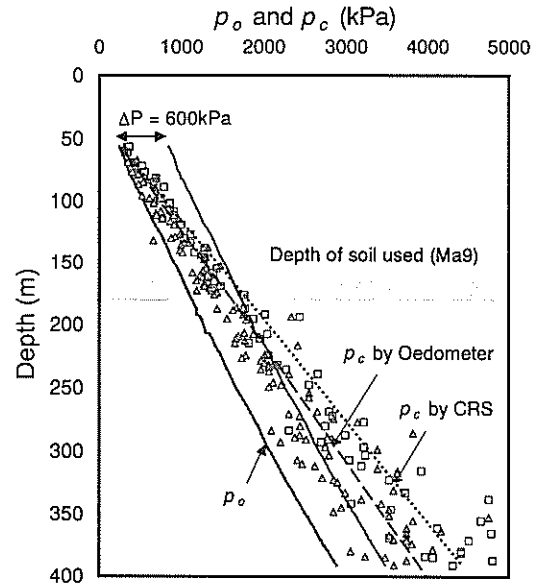


図-6 採取位置の土被り圧と降伏応力分布

重増分が図-6に示すように約600kPaとなることを考慮すると、この層は埋立後には正規圧密領域内から過圧密領域内への遷移区間となり、特に層厚が21mと比較的厚いMa9層は、二次圧密を無視し得なくなると考えられ、圧密降伏応力 p_c 付近の挙動を詳細に調べる必要があると考えられるためである。

2.5 供試体の厚さの決定

分割型圧密試験に使用する試料の厚さを決めるため、標準圧密試験機を用い、5, 10, 20mmの厚さの試料を用いて圧密試験を行った。試験に用いた試料は、試験試料の同じ深さから採取された洪積粘土を練り返し、最大200kPaの圧密圧力で作製された再構成試料である。

図-7は、この試験から求められた間隙比と圧密圧力の結果を各試料の厚さに対して示している。10mmと20mmの e -log p 曲線はほぼ一致しているが、5mmの場合はこれら2つのケースに比べて著しく異なっている。圧密降伏応力についても、同様に10mmの場合は194kPa、20mmの場合は195kPaで両ケースはほぼ一致している。これ

表-2 試料の物性

Natural water content, W_n (%)	Atterberg Limit (%)			Specific Gravity, G_s	Soil formation (%)		
	LL	PL	PI		sand	silt	clay
53.8~57.8	73.6~108	31.1~36.6	41.9~69.8	2.69~2.72	0.3~0.5	49~66.9	32.8~50.5

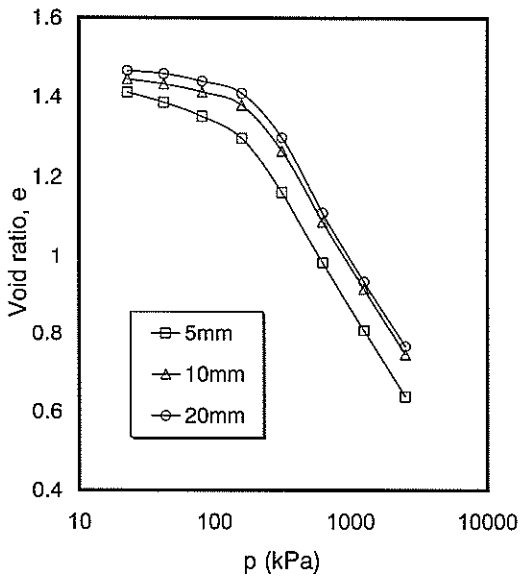


図-7 厚さ別圧密試験の間隙比と圧密圧力の関係

に対し、5mm の場合は 178kPa で、やや小さめの値となっている。以上の実験結果から、5mm の場合は 10mm や 20mm の場合に比べると、供試体成形時に端面の乱れの影響が、間隙比の値に対して無視し得ない程度に現れているものと考えられる。一方、10mm と 20mm の試料では、間隙比にあまり差が現れなかった。この結果を踏まえ、供試体の厚さの影響が間隙比の値に現れない範囲で、かつ、圧密が十分に速く進行することを考慮して、本研究で行った分割圧密試験の各分割層の厚さを 10mm に決定した。したがって分割数が 5 層の供試体全体の層厚は 50mm である。

2.6 試験条件

本試験では、洪積粘土の圧縮性が大きく変化する圧密降伏圧力 p_c の付近での圧密挙動を調べることを目的としているため、圧密降伏応力 p_c との関係から p_c 直前と直後での荷重増加率を変化し、表-3のような様々な荷重パターンを設定して試験を行った。

図-8は対象試料、すなわち、不攪乱洪積粘土と再構成圧密粘土に対して行った標準圧密試験と定ひずみ速度圧密試験結果を示している。いずれも定ひずみ速度圧密試験のほうが標準圧密試験に比べて10%くらい大きい降伏応力および圧縮指数が得られるが、標準圧密試験によると、降伏応力付近で急激な圧縮性の増加などを示す不攪

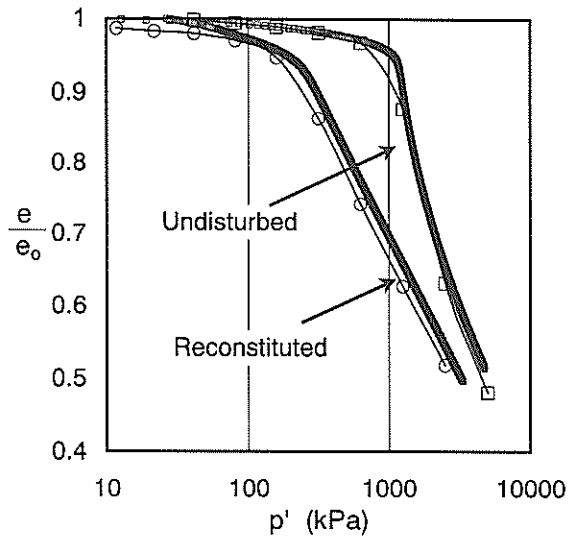


図-8 不攪乱および再構成試料の標準圧密試験と定ひずみ速度試験結果の比較

表-3 試験時載荷条件および試験コード

Test code	Loading pressures (kPa)			Remarks	
	Overconsolidated range	Before / After Yielding pressure	Normally consolidated range		
STD	78~627 \Rightarrow ($\Delta p/p = 1$)	1255 \Rightarrow	2511 \Rightarrow 4707	24hrs for step	
SBY1		863 \Rightarrow 1255 \Rightarrow			
SBY2		941 \Rightarrow 1255 \Rightarrow			
SAY1		941 \Rightarrow 1569 \Rightarrow			
SAY2		941 \Rightarrow			
STD3d		1255 \Rightarrow			72hrs for step
ROC		1255 \Rightarrow			Reconstituted soil

乱洪積粘土特有の挙動が現れない場合もあり、本研究では対象試料の圧密定数を定ひずみ速度圧密試験によって求めることにした。

定ひずみ速度圧密試験結果から求められた降伏応力 p_c と圧縮指数 C_c について述べる。再構成試料の場合、降伏応力 p_c は209kPa、圧縮指数 C_c は0.59で、不攪乱洪積粘土の場合、降伏応力 p_c は1157kPa、圧縮指数 C_c は0.77であった。分割型圧密試験の荷重パターンはこのようにして求められた圧密降伏応力を考慮して決めることにした。

STDの場合は通常の標準圧密試験の荷重パターンとした。SBY1とSBY2は載荷荷重の627kPaまでは通常の標準圧密試験の荷重パターンとし、 p_c 直前の荷重点を1点追加した。

SAY1とSAY2の荷重パターンは圧密降伏応力をまたぐ圧密圧力の荷重増加率の変化による圧密挙動への影響を調べる目的で設定した。

以上の荷重パターンでの荷重時間は基本的に24時間とした。

STD3dの場合は荷重時間による影響を調べるため、各荷

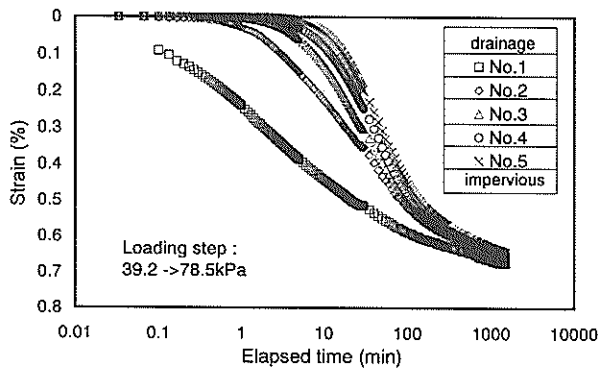
重別荷重時間を72時間とし、荷重はSTDと同一条件とした。また、洪積粘土の構造による圧密挙動の特性を比較するため、再構成圧密試料に関してもSTDの荷重パターンによる分割型圧密試験を行った(ROC)。

3. 分割型圧密試験の試験結果

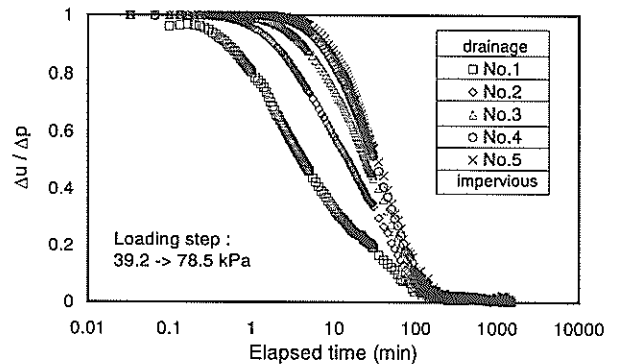
3.1 時間によるひずみおよび過剰間隙水圧の変化

再構成試料(ROC)を用いて行った分割圧密試験結果を図-9に示す。図-9(a), (c)は時間の対数と各層での圧縮ひずみ(ϵ)の関係、図-9(b), (d)は時間の対数と荷重増分(Δp)で正規化した過剰間隙水圧(Δu)の関係を各々過圧密および正規圧密試験に対して示したものである。図中のNo.1は排水面の分割層、No.5は非排水面の分割層である。

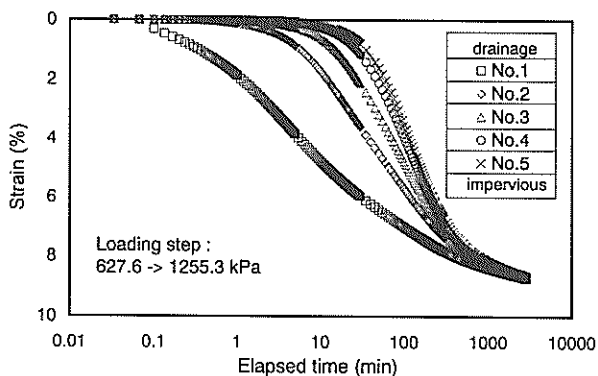
図を見ると No.1~No.5 の各分割要素は過圧密領域において約 200 分、正規圧密領域で約 700 分程度で同時に圧密が終了されている。しかし、各層での沈下および間隙水圧の消散速度は、排水面に近い No.1 がもっとも早く、次いで No.2, No.3, No.4 と続き、最後に非排水面の No.5



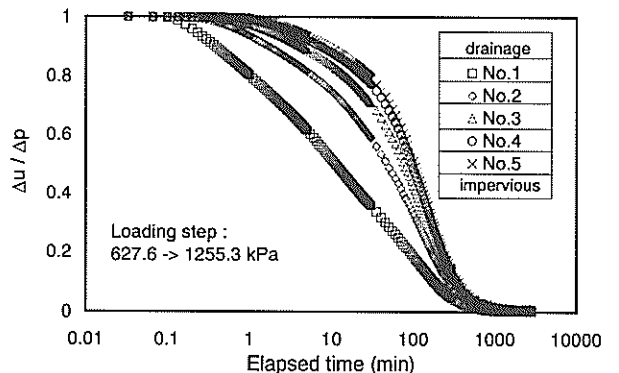
(a) 時間-ひずみ(過圧密領域)



(b) 時間-過剰間隙水圧(過圧密領域)



(c) 時間-ひずみ(正規圧密領域)



(d) 時間-過剰間隙水圧(正規圧密領域)

図-9 分割型圧密試験の時間によるひずみ(ϵ)および過剰間隙水圧($\Delta u/\Delta p$)の変化

という順になっている。このように、消散速度は異なるものの、間隙水圧がゼロになる時刻は、いずれの分割層においてもほぼ等しくなっており、それ以降、二次圧密における沈下曲線は、1つの直線に収束する。このような圧縮ひずみと間隙水圧の挙動は、過圧密においても正規圧密領域においても共通に見られた。

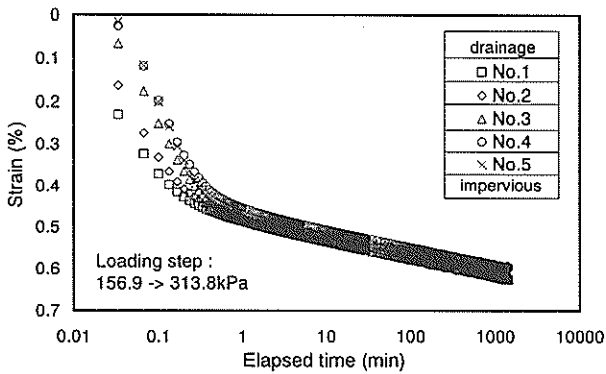
年代効果による粘土構造が発達されていない再構成試料の場合、圧密降伏応力 p_c 以前および以降ともひずみおよび間隙水圧の変化には著しい違いはなくほぼ同じ傾向を示しているが、あえて圧密降伏応力前後の差異を挙げれば、正規圧密領域において、圧密終了時間が若干増加していること、全体ひずみの増加が見られることである。

一方、大深度による大きい圧密圧力、長時間にわたる二次圧密の影響、そして年代効果によって構造が発達されていると予想される不攪乱洪積粘土の場合、圧密圧力の変化によってユニークな圧密挙動を示す。

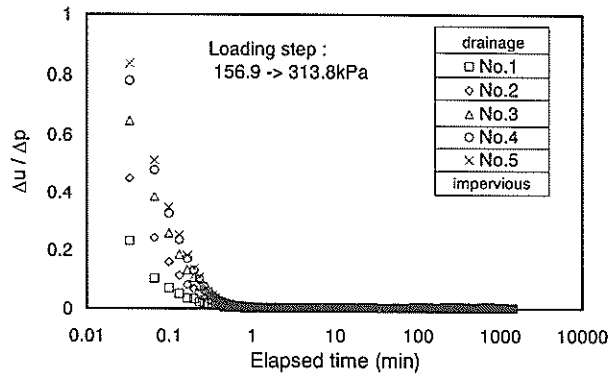
不攪乱試料(SBY1, SBY2)を用いて行った分割型圧密試験

験結果を図-10~図-14に各荷重段階別に連続的に示す。(a)は時間の対数と各層での圧縮ひずみ(ϵ)の関係、(b)は時間の対数と荷重増分(Δp)で正規化した過剰間隙水圧(Δu)の関係である。図中の No.1 は排水面の分割層、No.5 は非排水面の分割層である。圧密降伏応力 p_c が約 1157kPa なので、図-10, 11 は、過圧密領域の挙動、図-12 は、圧密降伏応力付近の挙動、図-13, 14 は、正規圧密領域の挙動をそれぞれ示している。

図-10 は、圧密圧力を 157kPa から 314kPa と変化させた時の圧密挙動である。各層での沈下を見てみると、1分以内に過剰間隙水圧が消散して一次圧密は終了し、試料内のひずみ分布は層厚に影響されず No.1, No.2, ... No.5 がほぼ同一な経路で沈下している。この段階での圧密挙動のほとんどが二次圧密によることがわかる。次に、圧密圧力を 628kPa から 942kPa と変化させた時の挙動を示す図-11 では、各分割層での過剰間隙水圧は、図-10 (b) と同様に 1分以内の早い時間内に消散している。しかし

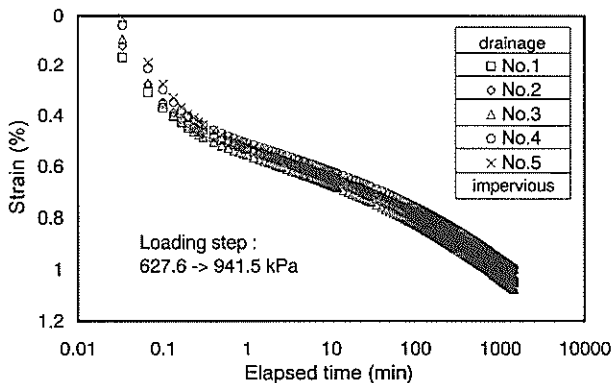


(a) 時間-ひずみ

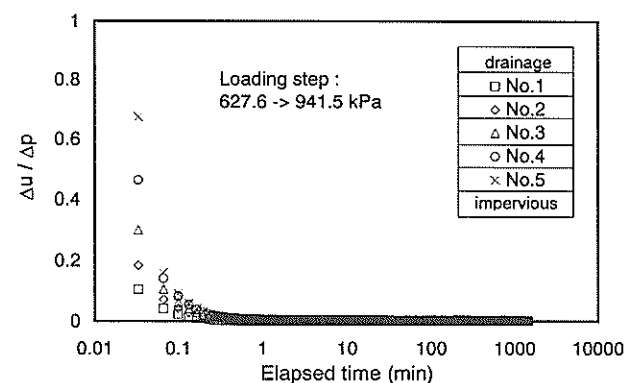


(b) 時間-過剰間隙水圧

図-10 不攪乱洪積粘土のひずみおよび過剰間隙水圧の経時変化(過圧密領域)

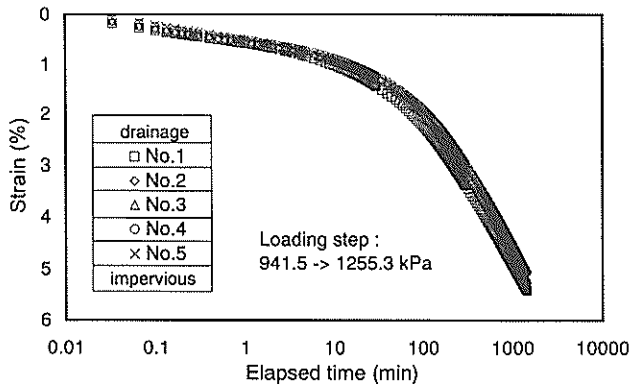


(a) 時間-ひずみ

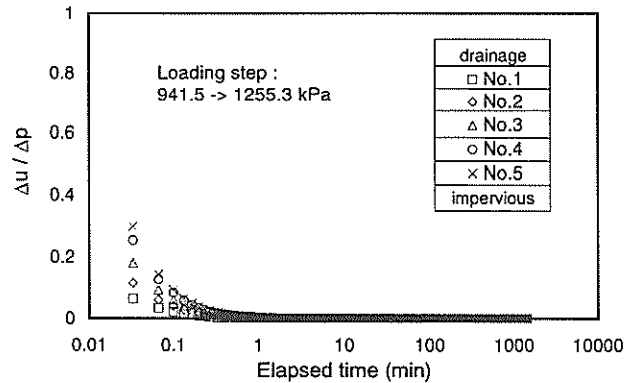


(b) 時間-過剰間隙水圧

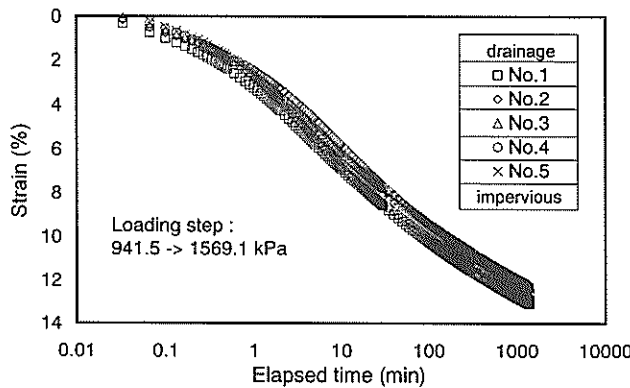
図-11 不攪乱洪積粘土のひずみおよび過剰間隙水圧の経時変化(p_c 付近の荷重段階)



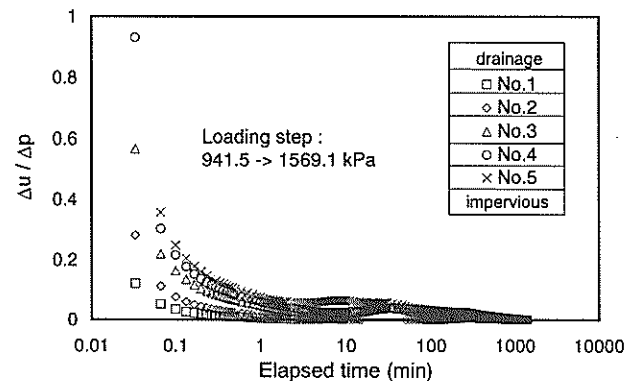
(a) 時間-ひずみ



(b) 時間-過剰間隙水圧



(a)' 時間-ひずみ



(b)' 時間-過剰間隙水圧

図-12 不攪乱洪積粘土のひずみおよび過剰間隙水圧の経時変化(p_c をまたぐ時)

各分割層での沈下量は図-10(a)と同様に時間の対数に対して直線的な二次圧密的な減少を示したが、荷重時間約30分後からはひずみ速度が再び増加する傾向を示す。これは、圧密降伏応力付近をまたぐ圧力段階である図-12(a), (b)にも見られる傾向である。圧密圧力を942kPaから1255kPaへ変化させた場合、すなわち圧密降伏応力 p_c を少し越えたこの荷重段階の場合、過剰間隙水圧は過圧密領域と同様に1分以内の早い消散速度で消散し、二次圧密挙動に入ったと見られるが、荷重時間が約30分経った時点で再び急勾配で沈下が著しく増加しているのがわかる。この荷重段階で急激な増加を示すひずみあるいはひずみ速度の変化傾向は、その時の荷重増加率によって異なっており、長期間にわたる荷重を行っても、なかなか収束しないまま減少が持続する。石井ら(1984)は大阪湾洪積粘土を用いて長期圧密試験を行い、圧密降伏応力と同じ荷重荷重を加えた場合($p/\Delta p=1$)、約60日間以降にも二次圧密による沈下が持続することを報告している。このような洪積粘土が有する圧密降伏応力 p_c 直前での特異な圧密挙動が、圧密沈下予測が実際地盤の挙動と異

なる一つの原因だと考えられる。

しかし、図-12(a), (b)のように、圧密圧力を942kPaから降伏応力をやや大きく越える1570kPaに変化させた場合、各分割層の変形挙動は一樣である時点になると収束する傾向が見られる。また各分割層での過剰間隙水圧は一度消散した間隙水圧が、ほぼ一定、もしくはわずかに上昇しているのが見られる。このような過剰間隙水圧の特異な傾向は圧密降伏応力直後の荷重段階で明瞭に見られる。

図-13は、圧密圧力を1255kPaから2511kPaに変化させた圧密降伏応力直後の圧密挙動を示している。各分割層の圧密挙動は排水距離の増加による時間遅延が見られ、排水層に近いNo.1から圧密が発生してNo.2, No.3, No.4, No.5の順番で進行されている。特に各分割層でいったん消散していた過剰間隙水圧は再び大きく増加し、あるいはしばらくの間、ほぼ一定になってその後消散する特異な消散挙動を示している。すなわち、荷重時間1分を境にして過圧密領域での消散特性から正規圧密領域の消散特性に転ずる傾向になることがわかる。

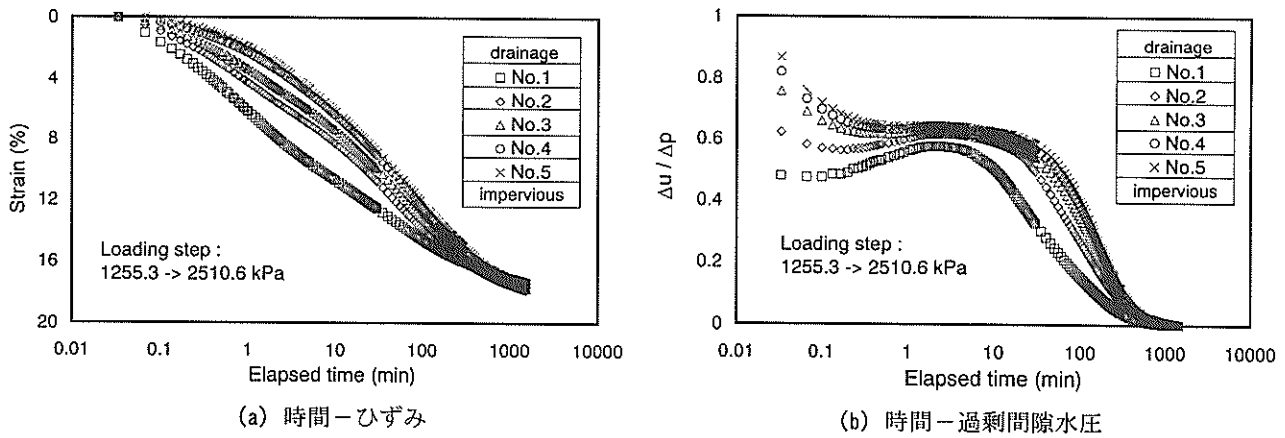


図-13 不攪乱洪積粘土のひずみおよび過剰間隙水圧の経時変化(p_c 直後の荷重段階)

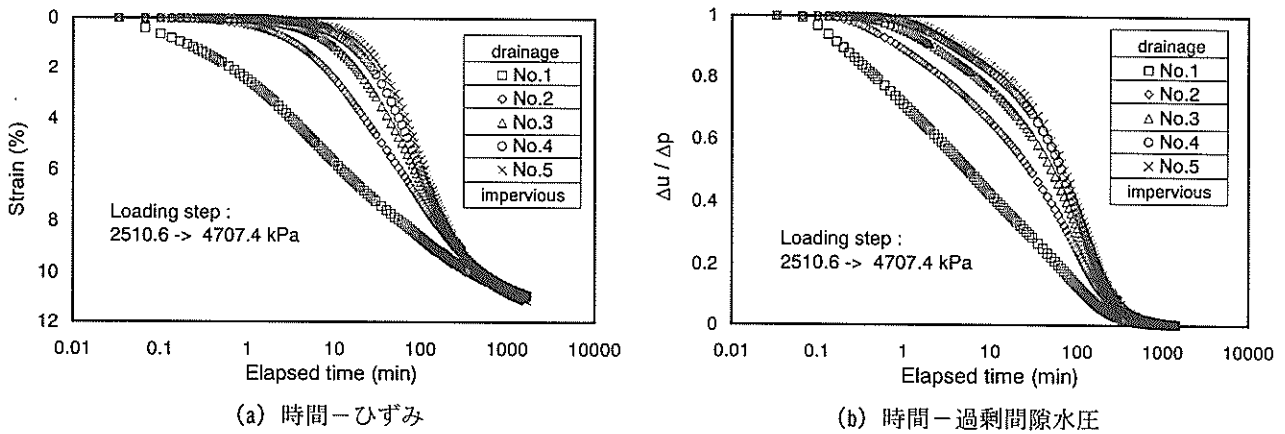


図-14 不攪乱洪積粘土のひずみおよび過剰間隙水圧の経時変化(正規圧密領域)

図-14の正規圧密領域での挙動は再構成試料の結果と同一な傾向を示しており、十分に高い圧力段階では、洪積粘土の構造による影響は消滅していると推測できる。

3.2 有効応力と間隙比の関係

分割圧密試験より得られた間隙比(e)と有効応力(p')の関係を図-15～図-16に示す。図-15は再構成試料(ROC)の実験結果、図-16は不攪乱試料(SBY2)の実験結果をそれぞれ示している。ここで各分割層の有効応力は、分割層中央の有効応力値とするために、分割層内部の間隙水圧分布は線形的に変化するものと仮定して、分割層両端で測定される間隙水圧の平均を用いて、次式のように算出した。(Imaiら, 1992)

$$p' = p - (u_T + u_B) / 2 \quad (1)$$

ここに、 p' : 有効応力

p : 全応力

u_T : 上部面の間隙水圧(No.1の場合は背圧)

u_B : 下部面の間隙水圧

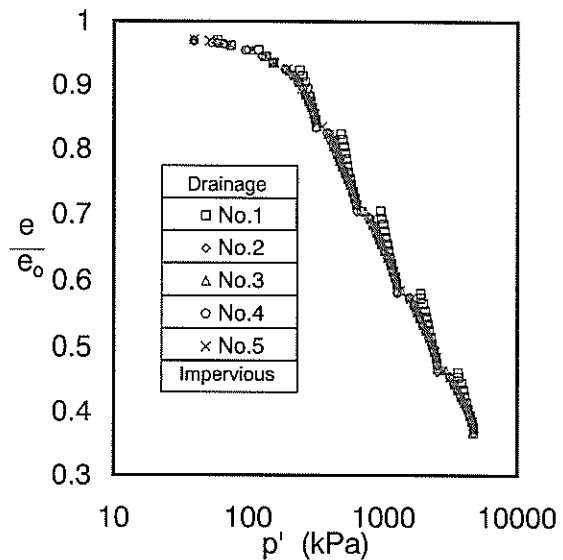


図-15 $e/e_0 \sim \log p'$ 関係(再構成粘土)

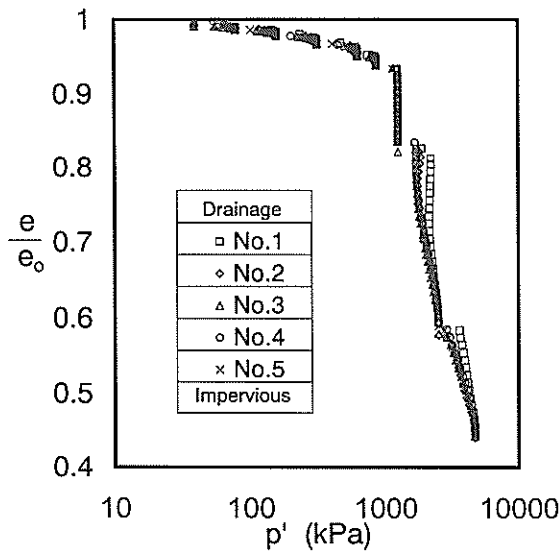


図-16 $e/e_0 \sim \log p'$ 関係(不攪乱洪積粘土)

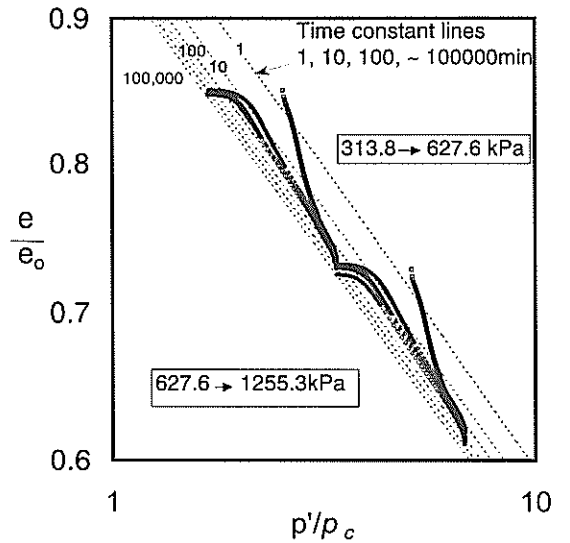


図-17 正規圧密領域の $e/e_0 \sim \log(p'/p_c)$ 関係 (再構成試料)

正規圧密領域においては、再構成試料、不攪乱試料い
ずれも、間隙比～有効応力関係は分割層ごとにそれぞれ
異なった経路をたどり、排水面に近い層ほど右側に張り
出している。特に No.1 が他の分割層と違った挙動を示す
のは、排水面に近いため圧密開始後すぐに間隙水圧が消
散し、それに従って有効応力が急激に高くなったからで
ある。

図-17 は再構成試料の間隙比～有効応力関係を示す。
間隙比 e は初期間隙比 e_0 で、有効応力 p' は圧密降伏応力
 p_c で正規化し、正規圧密領域の部分を拡大して示したも
のである。

圧密中の間隙比と有効応力の関係は、排水面に近い分
割層ほど右側にずれ、分割層によって違った経路をたど
っていることがわかる。このように各分割層毎の $e \sim \log p'$
曲線は、圧密開始直後は時間一定線を横切りながら進む
ものの、最終的には分割層によらず同じ位置に漸近する
ことがわかる。

図-18 は不攪乱洪積粘土の間隙比～有効応力関係を詳
しく整理したものである。ここでは、分割型圧密試験か
ら得られたの各分割層の $e \sim \log p'$ 曲線は、データ量が多く
て複雑になることから、間隙比 $e \sim$ 有効圧密応力 p' の関
係を正規化し、各圧密圧力段階毎に分けて示すことにし
た。間隙比は e/e_0 として、有効応力 p' を圧密降伏応力
 p_c で正規化した。

図-18(a) は、過圧密領域を、図-18(b) は圧密降伏応力
 p_c をまたぐ圧力段階を示している。図-18(c) は、圧密降
伏応力直後の圧力段階を示し、図-18(d) は、正規圧密領

域を示している。図-18(a) の過圧密領域および図-18(b)
の圧密降伏応力をまたぐ圧力段階を見ると、排水面に近
い No.1 の経路が右に張り出しているのがわかる。しかし、
すぐに No.2, No.3, No.4, No.5 も No.1 の経路をたどり、圧
密が瞬時に終了している。特にこの段階ではほぼ一定な
有効応力下で急激な圧縮性の増加が見られる。図-18(c)
の圧密降伏応力 p_c 直後を見ると、排水面に近い No.1 か
ら No.2, No.3, No.4, No.5 の順に右に張り出している。

また、図-13 で見られる過剰間隙水圧の経時変化のよ
うに過剰間隙水圧がいったん低下してから増加している
ため、いったん右に張り出した $e/e_0 \sim \log(p'/p_c)$ 関係が左
に戻るユニークな関係が得られた。このユニークな挙動
は、本研究で行った再構成粘土の結果と、室内再圧密粘
土を用いた今井ら(1986)の実験では見られなかった結果
である。しかし図-18(d) の正規圧密領域では、排水面に
近い No.1 が右側に張り出し排水面から順に圧密が進行
している状況がみられ、今井ら(1986)の研究と同様の結
果である。

分割型圧密試験結果は、5 つの各分割容器を個別の粘
土層として整理する方法と各分割容器を合計して1つの
粘土層として整理する方法の2通りの整理方法がある。
すなわち、各分割供試体の骨格部分が互いに接するよ
うに連結しているため、後者の整理方法によれば、全体を
1つの粘土層と見なし、高さ 50mm の片面排水の圧密試
料と同様に考えることができる。図-19 は5つの分割粘
土層を1つの粘土層と見なした場合のSTDの結果を標準

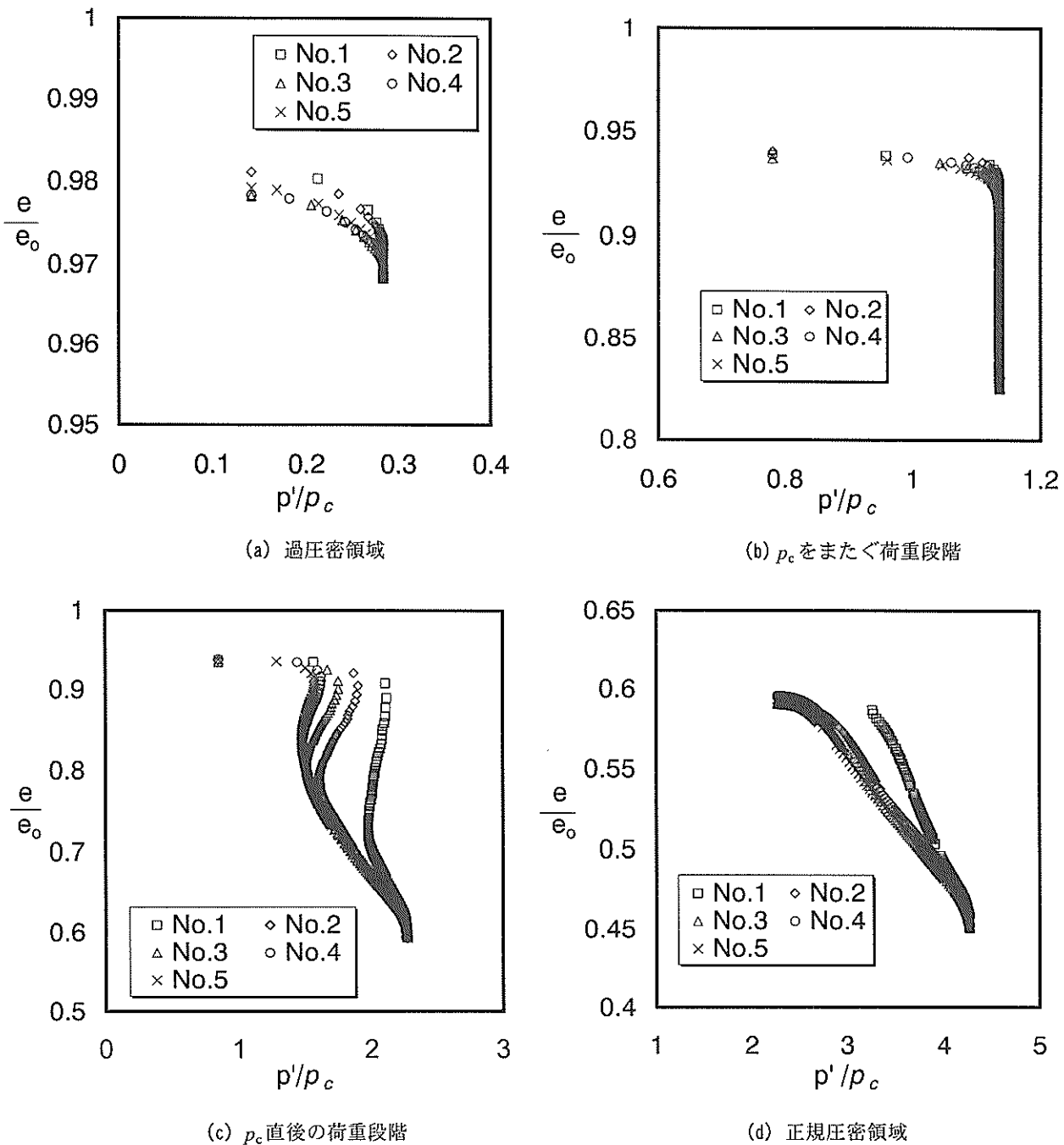


図-18 各荷重別 $e/e_0 \sim \log(p'/p_c)$ との関係(不攪乱洪積粘土)

圧密試験と定ひずみ速度圧密試験の結果と比較して示したものである。試験結果は全体的に見るとほぼ同様な挙動を示し、有意な差異は無かった。

図-20 は荷重パターンが圧密降伏応力付近の間隙比～有効応力関係に及ぼす影響を調べるために、様々な荷重載荷パターンに対して p_c 直後のひずみおよび過剰間隙水圧の挙動を示したものである。この時のひずみと過剰

間隙水圧は各分割層の測定結果を合算し、単一層の挙動として示している。図より前段階の荷重増加率が大きいほど、ひずみが大きく発生することがわかり、前段階の荷重段階でひずみが収束していた SAY1(1569→2511kPa) の場合には、SBY1 および SAY2 に比べ、小さいひずみを示している。したがって、SAY1 の場合、過剰間隙水圧は p_c 直後の載荷初期段階から時間遅延の減少傾向を

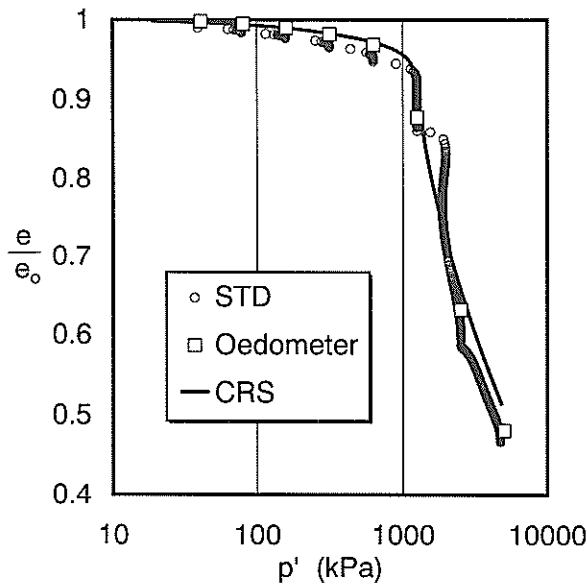
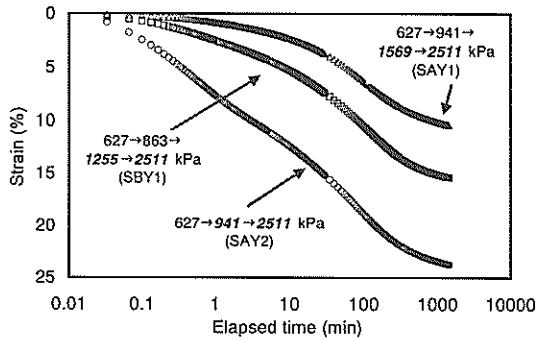
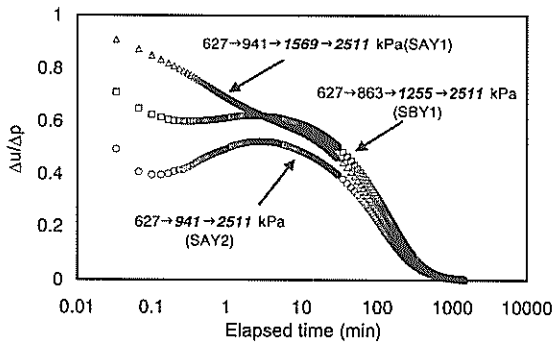


図-19 間隙比と有効応力の比較



(a) ひずみの経時変化



(b) 過剰間隙水圧の経時変化

図-20 荷重パターンによる圧密挙動の比較

示している。前段階からの荷重増加率が大きい SAY2(941→2511kPa)の場合、初期 60%以上の圧密度まで瞬時的に進行しているが、荷重時間 3 分程度まで過剰間隙水圧の

急激な増加が見られる。また、SAY2 より荷重増加率が小さい SBY1(1255→2511kPa)の場合、初期約 40%の圧密が瞬時的に進行しているが、過剰間隙水圧が一定あるいはやや増加することがわかる。いずれも最終的には同様な経路に収束していることが見られる。

図-21 ではこのような荷重パターンの違いによる正規化した間隙比～有効応力の関係を比較している。降伏応力以前と降伏応力をまたぐ荷重の荷重増加が大きいほど正規化された $e-\log p'$ 曲線がより右側に張り出しているが、最終的には、正規圧密領域の圧密特性を示す経路をたどることがわかる。このような結果は、「粘土には本来有する固有の圧密特性が存在する」という土田 (1999) の研究結果と一致する傾向を示していると考えられる。

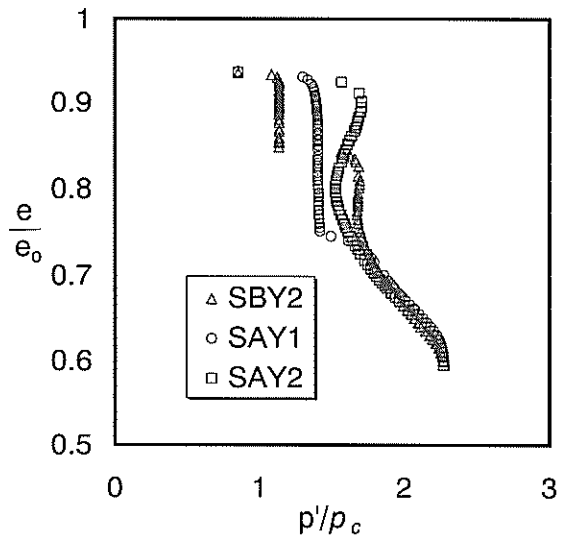


図-21 各荷重パターンによる $e/e_0 \sim \log(p'/p_c)$

図-22 には前段階の荷重時間が圧密特性の変化にどのような影響を及ぼすかを調べるため、各荷重段階の荷重時間を 24 時間とした試験(STD)と 72 時間とした試験(STD3d)の間隙比～有効応力関係を正規化して比較したものである。STD3d の p_c 付近の圧密挙動は、二次圧密期間が長くなるため STD に比べ圧縮性が大きくなっているが、次の荷重段階の圧密挙動はあまり影響を及ぼされず、24 時間と 72 時間の曲線は両方ほぼ同じ経路をたどることがわかる。

したがって、本試験に使用された洪積粘土に限っては、前段階の圧密荷重時間は次の荷重段階には影響を及ぼさないと推測できる。しかし、このような結果に関しては追加的な研究によってさらに詳細な検証する必要があると考える。

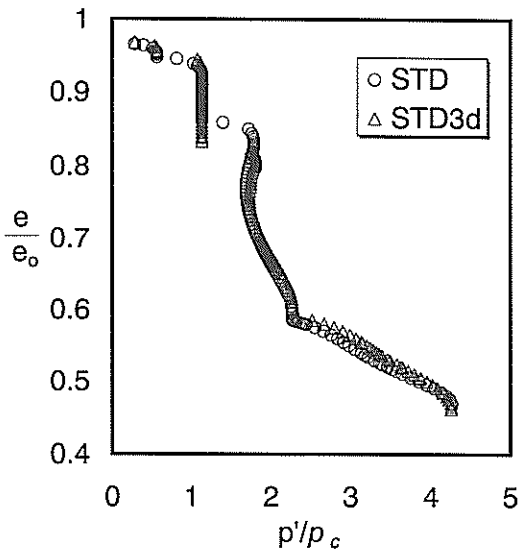


図-22 荷重時間の差異による $e/e_0 \sim \log(p'/p_c)$ 曲線

3.3 二次圧密係数

図-23 は圧密降伏応力 p_c で正規化した有効応力 (p') と二次圧密係数 (C_α) の関係を示したものである。図中の点線は再構成試料の実験結果を、実線は不攪乱試料の実験結果をそれぞれ示している。

過圧密領域では再構成試料、不攪乱試料ともに、有効応力に対して二次圧密係数の値は無視し得る程度に小さく、ほぼ一定であることがわかる。しかし、正規圧密領域に入ると両者の挙動に差が見られるようになる。まず再構成試料では、二次圧密係数の値は有効応力に対して、直線的に増加して圧密荷重の増加と共にほぼ一定値を示すようになる。なお、その値は、排水面に近い No.1 ほど小さくなっている。これに対して不攪乱試料では、圧密降伏応力 p_c を越えた付近で最大値をとり、その後、著しく減少していることがわかる。この場合にも、排水面に近い No.1 ほど小さくなっている。Mesri ら(1985)の研究

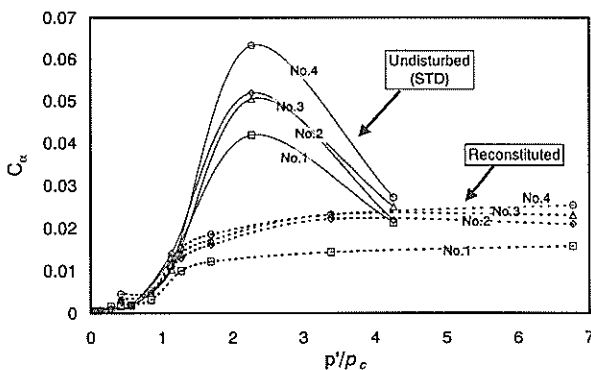


図-23 圧密荷重と二次圧密係数の関係

からもこのような傾向は見られるが、図-23 の結果は二次圧密係数 (C_α) が試料の厚さによって異なることを示しており、厚さが大きくなるにしたがって二次圧密の影響が増大すると考えられる。

図-24 には荷重パターンによる二次圧密の変化を示している。 p_c 直後の二次圧密係数のピーク値は荷重パターンの変化による影響を大きく受けていることがわかる。いずれの荷重パターンにおいても、最大値に達した C_α は最終的に同程度の値に収束する傾向が見られる。STD と STD3d を比較して見ると、荷重時間の長い STD3d の場合、STD に比べて小さいピーク値を示しており、前段階での圧密時間は圧密降伏時の二次圧密特性に影響を及ぼすことがわかる。

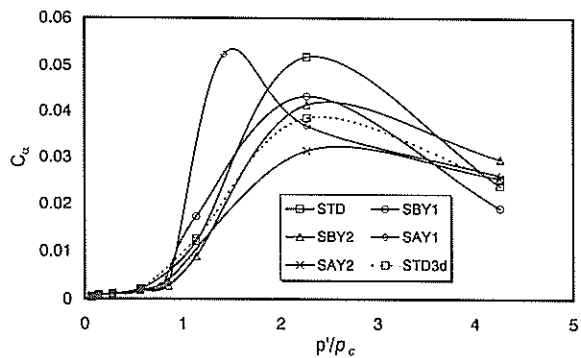


図-24 荷重パターンによる二次圧密係数の比較

Mesri ら(1977)は二次圧密係数 (C_α) と圧縮指数 (C_c) との間にユニークな関係があることを報告しており、Mesri ら(1985)は粘土に対し次のような C_α/C_c 値を提案している。

$$\begin{aligned} \text{無機質軟弱粘土} & C_\alpha/C_c = 0.04 \pm 0.01 \\ \text{有機質高塑性粘土} & C_\alpha/C_c = 0.05 \pm 0.01 \end{aligned} \quad (2)$$

図-25 は、大阪湾洪積粘土における二次圧密係数 (C_α)

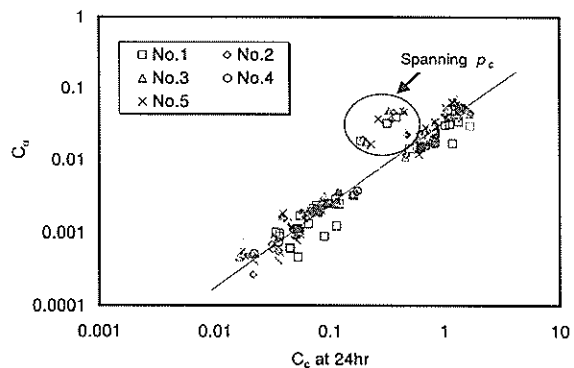


図-25 C_α と C_{c24hr} の関係

と 24 時間荷重時の間隙比が得られた圧縮指数(C_{c24hr})との関係を両対数で示したものである。 p_c 直後に C_{α} は急激に増加するため、この荷重段階での C_{α} は他の荷重段階の両対数線形関係から離れているのがわかる。その部分のデータを除いて整理すると、 $\log(C_{c24hr} / C_{\alpha})=1.6$ となり、これは $C_{\alpha}/C_{c24hr}=0.025$ に相当する。

一方、図-26 は C_{α}/C_{c24hr} 比と試料の厚さの関係を示しているが、不攪乱洪積粘土の場合、試験条件とは関係なく約 0.025 の値でほぼ一定の傾向を示している。再構成粘土の場合は、深度の増加によって若干の増加傾向を示すが増加率は小さく、 $C_{\alpha}/C_{c24hr}=0.025\sim 0.030$ 程度の値でほぼ一定であることがわかる。

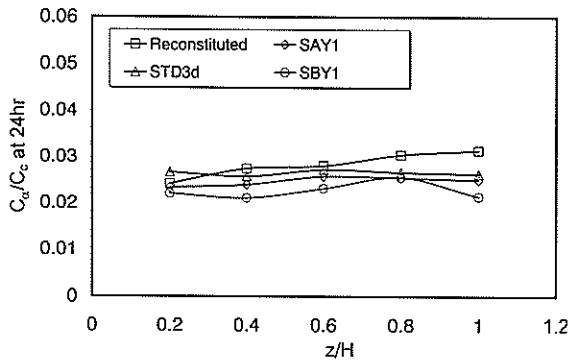


図-26 C_{α}/C_{c24hr} 比と深さとの関係

3.4 体積圧縮係数と圧密係数

図-27は分割型圧密試験から得られた体積圧縮係数 m_v ～平均圧密応力 \bar{p} との関係を標準圧密試験および定ひずみ速度圧密試験の結果と比較して示したものである。図より過圧密領域および正規圧密領域における m_v ～ \bar{p} 関係は荷重増加率による影響を受けず、よく一致していることがわかる。特に標準圧密試験と同じ荷重段階で行ったSTDの場合を比較すると、両者の m_v とほとんど一致している。すべてのケースを比較すると、 p_c 付近での荷重増加率の変化によって若干異なる傾向が見られるが、 p_c 直後の荷重段階ではほとんどのケースで $1.5 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{kN}$ 程度の同じ m_v を示している。

荷重増加率が大きいSAY2(942→2511kPa)は p_c 付近での圧縮性を表現できず、 p_c 直後の荷重段階で他の荷重パターンによる結果に収束している。

図-28は分割型圧密試験から得られた圧密係数 c_v ～平均圧密応力 \bar{p} との関係を示したものである。同図には標準圧密試験および定ひずみ速度圧密試験から得られた c_v もあわせて示している。標準圧密試験は一般的な方法として

\sqrt{t} 法によって c_v を計算した。一方、分割型圧密試験の c_v は試験中に測定した過剰間隙水圧のデータから90%の圧密時の経過時間を求めて計算したものである。

図より、分割型圧密試験の各荷重パターンによる c_v は互いによく一致していることがわかる。分割型圧密試験による c_v を定ひずみ速度圧密試験および標準圧密試験による c_v と比較して見ると、正規圧密領域では両試験の c_v はよく一致しているが、過圧密領域では、定ひずみ速度圧密試験の場合は最大7倍、標準圧密試験の場合は最大100程度程度小さいことがわかる。また分割型圧密試験の場合、降伏応力付近での c_v が最大値を示した後、過圧密領域に入ると急激に減少する傾向が見られる。

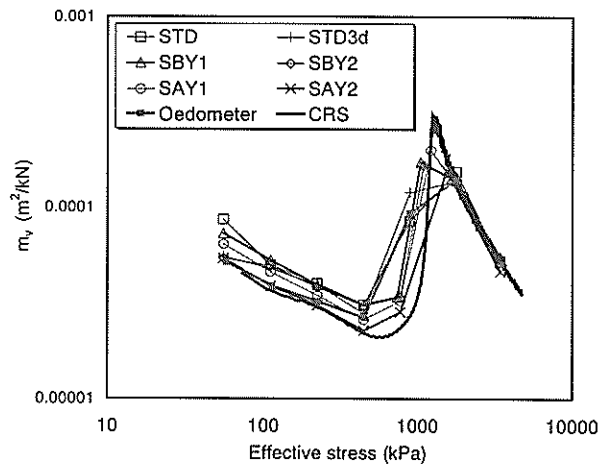


図-27 m_v ～ \bar{p} 関係の比較

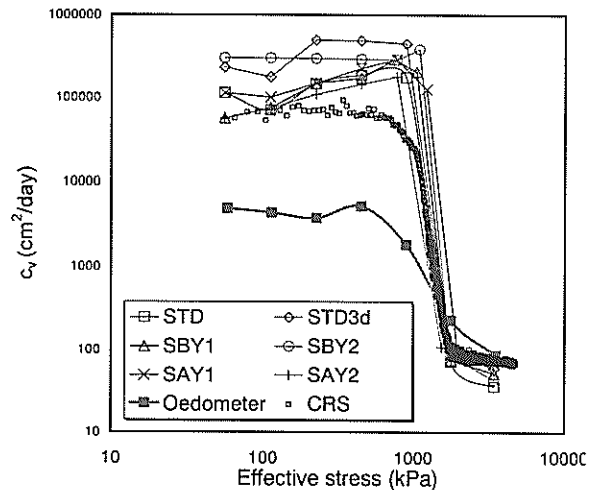
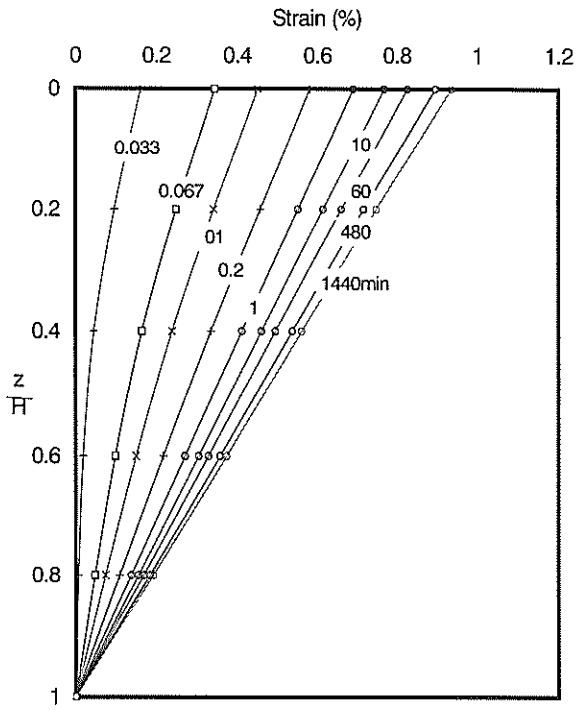


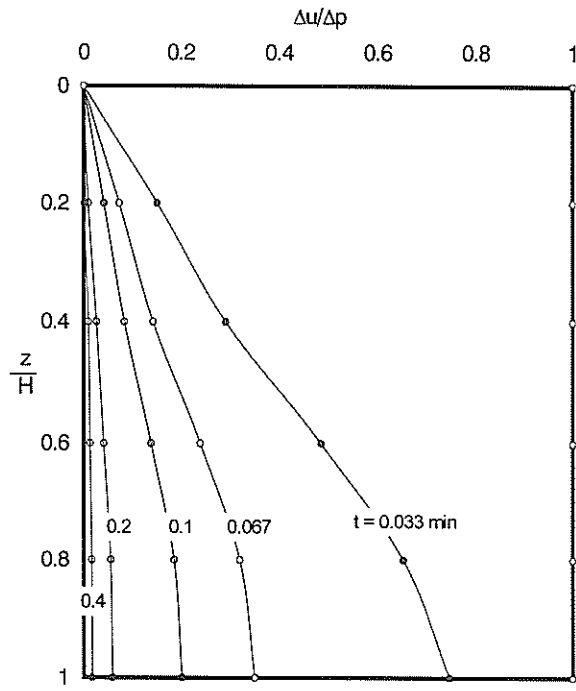
図-28 c_v ～ \bar{p} 関係の比較

3.5 圧縮変形量と間隙水圧の等時曲線

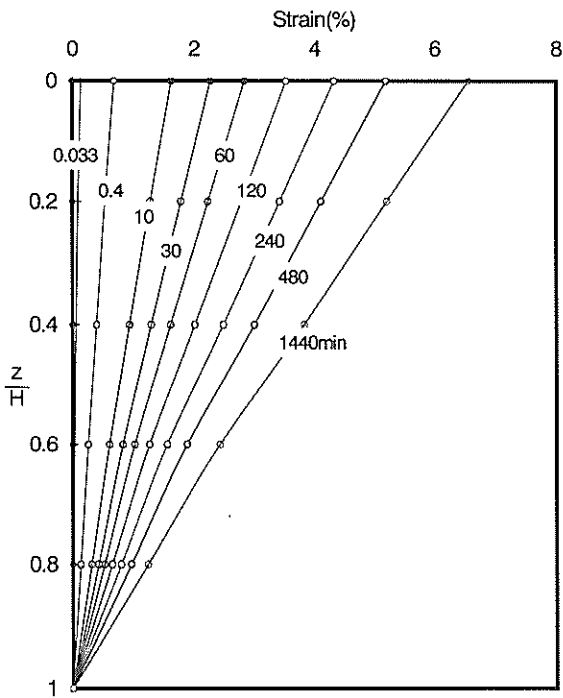
図-29は各荷重段階における過剰間隙水圧と軸ひずみの等時曲線を示したものである。



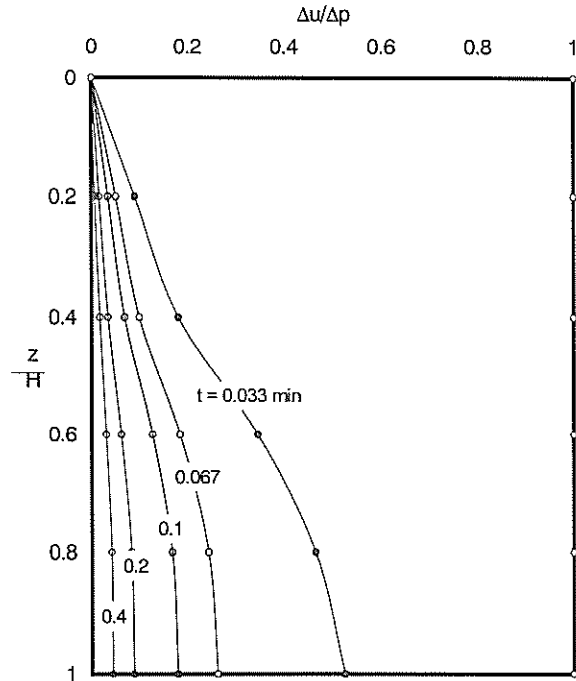
(a) 変形量分布(過圧密領域)



(b) 間隙水圧分布(過圧密領域)

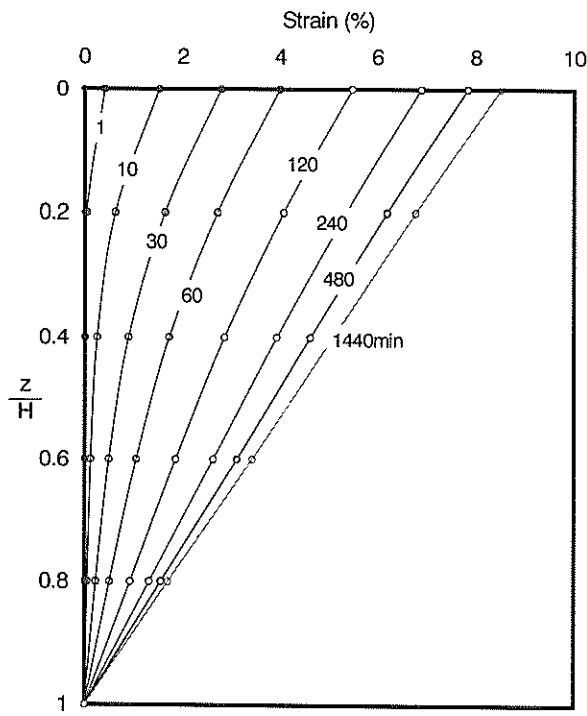


(c) 変形量分布(p_c をまたぐ荷重段階)

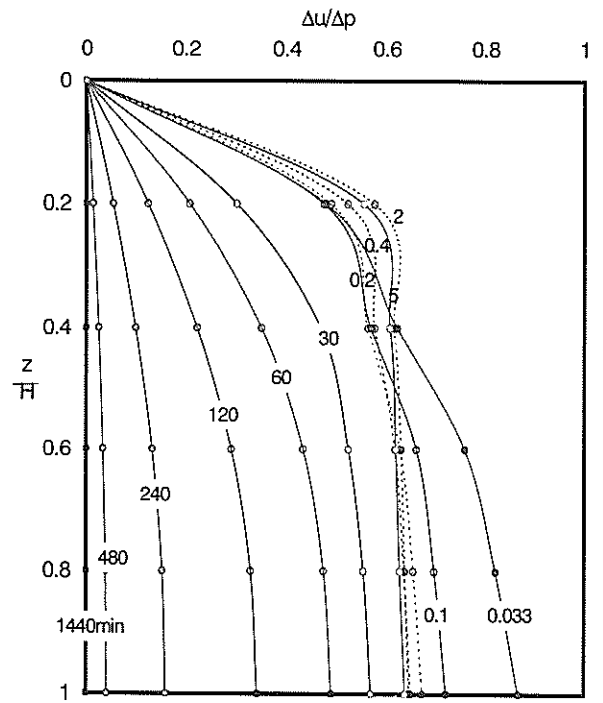


(d) 間隙水圧分布(p_c をまたぐ荷重段階)

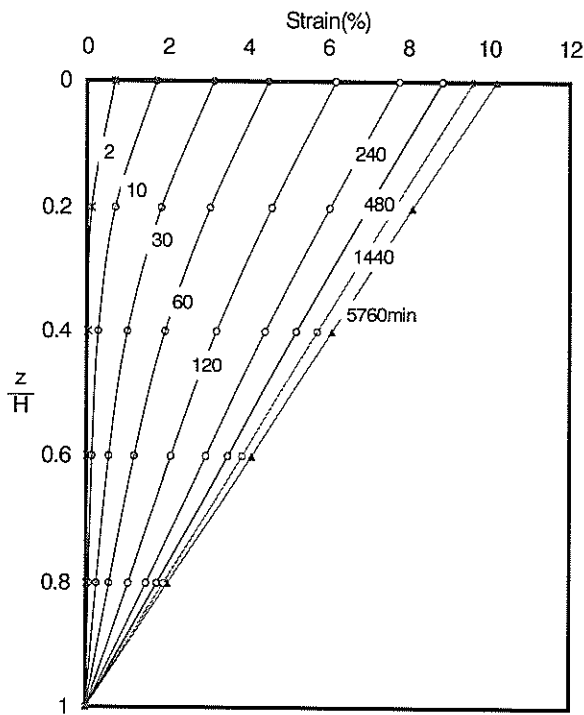
図-29 深さによる変形量と過剰間隙水圧の分布(その1)



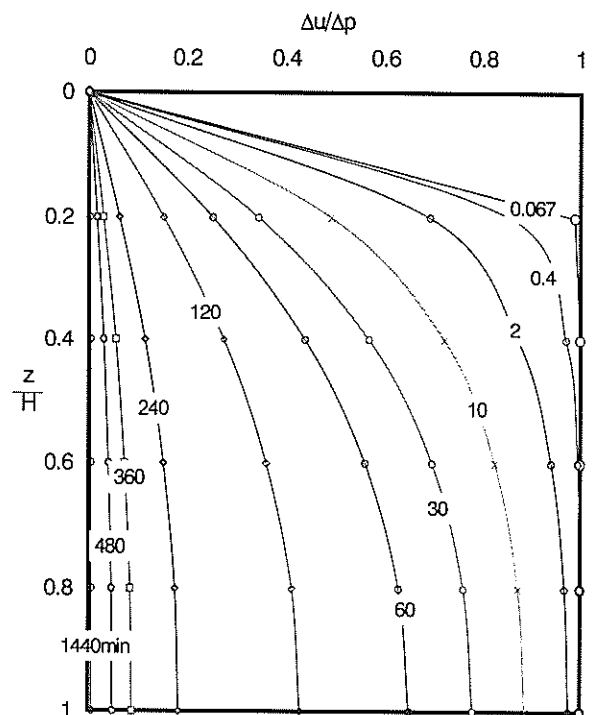
(e) 変形量分布(p_c 直後)



(f) 間隙水圧分布(p_c 直後)



(g) 変形量分布(正規圧密領域)



(h) 間隙水圧分布(正規圧密領域)

図-29 深さによる変形量と過剰間隙水圧の分布(その2)

図-29(a)と図-29(b)は過圧密領域、図-29(c)と図-29(d)は p_c 直前の荷重段階、図-29(e)と図-29(f)は p_c 直後の荷重段階、そして図-29(g)と図-29(h)は正規圧密領域について示したものである。

荷重載荷初期の有効応力値と過剰間隙水圧の等時曲線が与えられるとある深さと時間での有効応力に関する情報がわかる。同様に荷重載荷初期の間隙比と軸ひずみの等時曲線が与えられると、ある深さと時間での間隙比を調べることができる。

図-29(a)、図-29(c)、図-29(e)、図-29(g)は各分割層の上部で測定された軸ひずみを各分割層の深さにおいて累積合計し、排水面($z=0$)から比排水面($z=H$)方向に層厚 H で正規化した z/H に対して示した等時曲線である。過圧密領域と p_c 直前の荷重段階でのひずみ分布は、1分程度経過した後、深さ方向に対して時間遅延がなく、線形的な分布傾向が見られる。また、 p_c 直後の荷重段階と正規圧密領域でのひずみ分布は、深さによって排水距離が長くなるため、初期には時間遅延的な圧密が進行し、上部の圧密が先に進行してから下部の圧密が徐々に進んで行く傾向がわかる。

このような深さ方向に対する時間遅延的な圧密は約450~500分程度まで進行した後、直線的な分布の圧密へ変化する。

図-29(b)、図-29(d)、図-29(f)、図-29(h)では各分割層の下部で測定された過剰間隙水圧を z/H に対して示した等時曲線である。過圧密領域と p_c 直前の荷重段階においては、過剰間隙水圧の消散速度が早いため、放物線分布を示さない。図-29(e)に示す圧密降伏応力直後の圧密段階では、過圧密領域および圧密降伏応力直前に比べて放物線的な特徴を示している。圧密降伏応力直後の過剰間隙水圧分布に特徴的なことは、放物線状に消散していた過剰間隙水圧分布が徐々に試料下部の消散が止まるいっぽうで、試料上部では増加する過剰間隙水圧によって載荷時間2分程度後には深さに対して一定な直線的分布を示していることである。その後、再び試料上部から消散が始まり、徐々に放物線状の消散分布を示すようになる。図-29(h)のような正規圧密領域では載荷初期から典型的な放物線分布の圧密が進行していることがわかる。

4. 結論

本研究では発達した構造を有する大阪湾洪積粘土の圧密特性を詳しく調べるために高压分割型圧密試験を行った。主要な結果をまとめると以下ようになる。

(1) 洪積粘土の不攪乱試料に対して分割型圧密試験を行った結果、各荷重段階において特徴的な圧密挙動を示すことがわかった。

①過圧密領域

載荷荷重による過剰間隙水圧および軸ひずみは、1分程度の極端に早い載荷時間内に終了した。終了後、各分割層での圧密は層厚の影響を受けず、同一な経路に進行することがわかった。この段階での圧密過程のほとんどは二次圧密による挙動であると考えられる。

②圧密降伏応力付近および直前の荷重段階

載荷段階が圧密降伏応力に接近する場合、過剰間隙水圧の消散は、過圧密領域での結果と同様に極端に早い載荷時間内に終了した。しかし、その後の二次圧密によって、時間対数に対して線形的な減少を示していたひずみは再びひずみ速度が増加する傾向を示した。また、この段階での間隙比~有効応力関係から、一定な有効応力下で直線的に圧縮性が増加することがわかった。

③圧密降伏応力直後の荷重段階

この段階での圧密挙動は前段階および圧密降伏応力をまたぐ載荷段階での荷重増加率による影響を大きく受けることがわかった。各分割層の圧密挙動は粘土内部の構造が降伏され、層厚の影響を受け始めることによって排水面に近い分割層から順番に圧密が進行する傾向が見られた。

過剰間隙水圧の経時変化は初期に急速な消散を示すが、急激な圧縮性の増加によって再び増加に転ずるユニークな挙動が見られた。これによって間隙比~有効応力関係では各分割層の挙動が右側に張り出し、その後左側に戻ることも観察された。全分割層の圧密終了時間は前段階に比べ、著しく増加する傾向を示した。

④正規圧密領域

構造の影響が消滅されたと推測できる正規圧密領域では再構成試料の圧密挙動と同様な挙動を示し、層厚の影響を大きく受けて圧密が進行し、過剰間隙水圧の消散終了と同じ時点で各分割層の圧密は同一経路に収束し、二次圧密過程に入ることがわかった。

(2) 圧密降伏応力直後の間隙比~有効応力関係は荷重パターンによって各々異なる経路を示すが、最終的に正規圧密領域ではすべて同一な経路をたどることがわかった。これにより粘土には本来有する固有の圧密特性があるものと推測される。

(3) 載荷時間を24時間と72時間として、載荷時間が圧密特性に及ぼす影響を調べた結果、前段階の載荷時間は次

の載荷段階における間隙比～有効応力関係にはあまり影響を及ぼさないことがわかった。

(4) 二次圧密係数は圧密降伏応力を越えると急激に増加し、その値は排水面に近いほど小さい。また、二次圧密係数は載荷パターンによって大きく変化するが、二次圧密係数と圧縮指数の比は、深度にかかわらずほぼ一定であることがわかった。

(5) 高圧分割型圧密試験による体積圧縮指数は、標準圧密試験および定ひずみ速度圧密試験の結果とよく一致した。しかし、圧密係数は正規圧密領域ではよく一致したが、過圧密領域では大きい差異がみられた。標準圧密試験の場合、約100倍以上の差異を示し、過圧密領域での圧密係数を過小評価していると考えられる。

5. あとがき

今回の研究を通じて、分割型圧密試験では、供試体の整形時に現れる試料の攪乱、供試体設置時の排水経路の飽和について、既存の圧密装置以上に細心の注意を払う必要があることがわかった。

今回の研究では一種類の粘土についてのみ検討したが、今後、構造の発達した粘土など他の粘土についても検討する予定である。特に過圧密領域および圧密降伏応力付近の圧密沈下特性については、さらなる実験データの蓄積と詳細な検討が必要であり、分割層数を増やして全体としての層厚を大きくした実験を行う予定である。

(2001年2月14日受付)

謝辞

本研究は関西国際空港(株)による全面的な支援のもとに実施されました。特に分割型圧密試験装置の整備、検定、改良は関西国際空港(株)より派遣された小泉和広氏(株)ダイヤコンサルタント)により実施され、本研究では同氏による実験データを一部使用させていただきました。ここに記して心より感謝いたします。

参考文献

- 網干寿夫, 松田博 (1978) : 分割型一次元圧密試験による粘土の圧密特性について, 第33回土木学会年次講演会, pp.97-98.
- 網干寿夫, 松田博 (1980) : 分割型一次元圧密試験によるプレローディング工法の基礎実験, 第15回土質工学

研究発表会, pp.237-240.

- 石井一郎, 小川富美子, 善 功企 (1984) : 大阪湾泉州沖海底地盤の工学的性質(その2)物理的性質・圧密特性・透水性, 港湾技術研究所資料, 第498号, pp. 73-76.
- 今井五郎, 浜田達也, 小野寺修一, 森俊二 (1986) : 分割型圧密試験装置を用いた均質粘土の一次元圧密特性, 第21回土質工学研究発表会, pp.191-194.
- 今井五郎, 小野寺修一, 辰馬克也, 森藤敏一 (1987) : 一次元圧密中の粘土層内部における圧縮特性, 第22回土質工学研究発表会, pp.243-246.
- Aboshi, H, Matsuda, M. and Okuda, M. (1981) : Preconsolidation by separate type consolidometer, *Proc. of 10th International Conference on SMFE*, Vol.3, pp.572-579.
- Berre, T. and Iversen, K. (1972) : Oedometer tests with different specimen heights on a clay exhibiting large secondary compression, *Geotechnique* 22, No.1, pp.53-70.
- Imai, G. and Tang, Y. X. (1992) : A constitutive equation of one-dimensional consolidation derived from interconnected tests, *Soil and Foundations*, JSSMFE. Vol. 32, No. 2, pp.83-96.
- Imai, G. (1995) : Analytical examination of the foundations to formulate consolidation phenomena with inherent time-dependence, *Proc. of International Symposium on Compression and Consolidation of Clayey Soils*, IS-Hiroshima '95, Vol. 2, Balkema, pp.891-935.
- Matsuda, H. and Nagatani, T. (1995) : Consolidation tests with constant rate of loading by separate-type consolidometer, *Proc. of International Symposium on Compression and Consolidation of Clayey Soils*, IS-Hiroshima '95, Vol. 1, Balkema, pp.123-128, 1995.
- Mesri, G. and Choi, Y. K. (1985) : The uniqueness of the end-of-primary (EOP) void ratio-effective stress relationship, *Proc. of the 11th International Conference on SMFE*, Vol. 2, pp587-590.
- Mesri, G. and Godlewski, P. M. (1977) : Time- and stress-compressibility inter-relationship, *Journal of the Geotech. Eng. Div.*, ASCE, Vol.103, No.5, pp.417-430.
- Mesri, G. and Choi, Y. K. (1985) : Settlement analysis of embankments on soft clays, ASCE, *Journal of Geotech. Eng.*, ASCE Vol.III, GT4, pp.441-464.
- Tanaka, H. and Locat, J. (1999) : A microstructural investigation of Osaka bay clay : the impact of microfossils on its mechanical behavior, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 36, pp.493-508.