

大型供試体（径 300mm）による 高有機質土の圧密特性の評価

利藤房男¹・岡井大八²・目堅智久³・楠見正人⁴・持田文弘⁵

¹正会員 応用地質（株） 技術本部（〒330-8632 埼玉県さいたま市土呂町 2-61-5）

²正会員 大阪ガス（株） エンジニアリング部（〒541-0046 大阪府大阪市中央区平野町 4-1-2）

³正会員 大阪ガス（株） エンジニアリング部（〒541-0046 大阪府大阪市中央区平野町 4-1-2）

⁴正会員 （株）鴻池組 土木設計部（〒541-0057 大阪府大阪市中央区北久宝寺町 3-6-1）

⁵正会員 応用地質（株） アラブ 大阪（〒532-0021 大阪府大阪市淀川区田川北 2-4-66）

大型供試体（径 300mm, 厚さ 100mm）を用いて、高有機質土の寸法の違いによる圧密特性の相違、鉛直・水平方向の透水異方性、プレロード後の二次圧密特性を評価した。一連の試験には、圧密リングの周面摩擦の評価や、水平方向圧密係数の評価が可能な全自動大型特殊圧密試験機を用いた。その結果、大型供試体による試験結果は、乱れや不均質性の影響が小さく、データの信頼性が高く評価出来ることがわかった。また、高有機質土の圧密係수에鉛直、水平で顕著な異方性がみられること、プレロード除荷後の二次圧密係数は、プレロード荷重を除荷時の 1.5 倍以上にすることにより、正規圧密状態の 1/10 前後に低減できることを示した。

Key Words : *organic soil, scale effect, anisotropy, pre-loading method, secondary consolidation*

1. はじめに

高有機質土地盤において沈下予測を行う場合、一般的には粘性土と同様に固定ピストン式サンプラーを用いて不攪乱試料を採取し、段階荷重による圧密試験が実施されている。試験供試体は、径 60mm, 厚さ 20mm のものが使用されている。しかしながら、高有機質土は未分解の繊維分、木片等を多く含み非常に不均質な状態にあり、このような小さい供試体で原地盤の圧密特性を把握できる試験結果が得られるか疑問がある。また、高有機質土は非常に圧縮性が高く軟質であるために、サンプラーからの試料の押し出し、試料の成形時に乱れの影響を受けやすい¹⁾。特に、供試体の寸法が小さい場合には、この影響が顕著であると考えられる。

本研究においては、大型シンウォールサンプラーで採取した不攪乱高有機質土（径 300mm, 厚さ 100mm）を用いて段階荷重圧密試験を実施して、圧縮性、圧密速度に関して大型供試体での試験結果の有効性を示した。また、高有機質土地盤でのバーチカルドレーン工法の有効性を把握するために、大型供試体による水平排水圧密試験を実施して、鉛直、水平方向の透水異方性を検討した。さらに、プレロード工法を想定し、大型供試体による長期圧密試験を実施して、最適なプレロード荷重に関して検

討した。

以上の研究に際しては、試験精度を向上させるために、圧密リング周面摩擦を考慮できる全自動大型特殊圧密試験装置を開発して、使用した。特に、水平排水圧密試験においては、リング周面から放射状に圧密排水させるため、リング内面にポーラスメタルを使用することになり、リングの摩擦が大きくなることが予想された。また、長期圧密試験においては、経時的に周面摩擦力が変化することが懸念され、一定の有効荷重圧力確保のためにリング周面摩擦を考慮する必要があると判断した。

2. 実験に用いた高有機質土の特徴

高有機質土試料の採取地は、福井県南部地方の周囲を山地に囲まれた湿地部に位置している。代表的な地質断面を図-1に示す。本地区は、中生代ジュラ紀に形成された美濃一丹波帯の頁岩および砂岩を基盤とし、その上位に第四紀洪積世ならびに沖積世の堆積物が厚く分布している。地質の特徴は、湿地部全域に非常に軟質な高含水比の高有機質土が分布し、湿地中央部では最大層厚 40m 前後に達することである。

試料のサンプリング位置は、高有機質土の層厚が最も

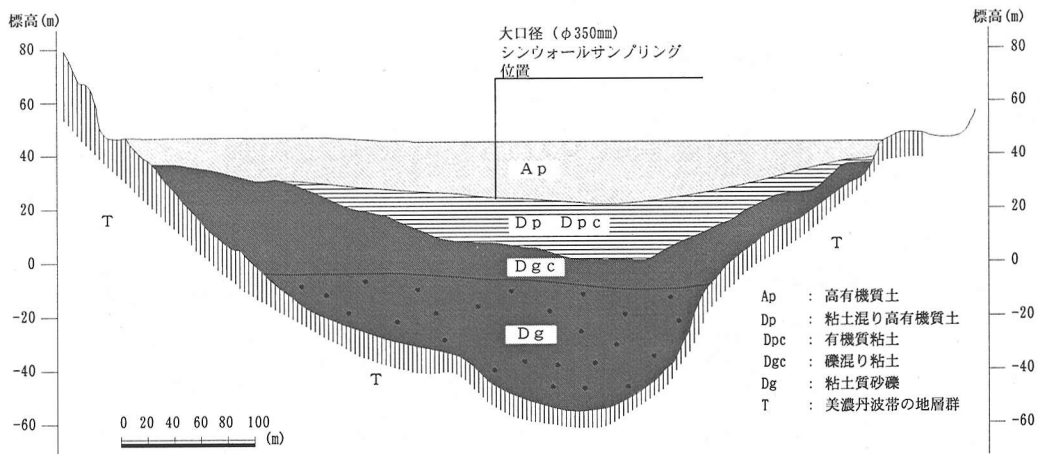


図-1 対象地の代表的な地質断面図

厚い湿地の中央部とした。サンプリングは、地表面から深さ 15m 間に分布する高有機質土を対象として、大口径の固定ピストン式シンウォールサンプラーを用いて実施した（不攪乱試料径は 350mm，試料長 1,000mm）。このシンウォールサンプラーは、大口径試料を採取するために今回特別に作製したもので、基本的な構造は一般の固定ピストン式サンプラーと同様であるが、サンプリングチューブの変形に伴う試料の乱れ防止のため、サンプリングチューブの肉厚を 8mm と厚くし、剛性を高めた。

試験を実施した試料の基本的な物理特性は、自然含水比 700~1,000%，初期間隙比 15~17，湿潤密度 1.00~1.05g/cm³，強熱減量 70~90%であり，有機物が主体を占めている。また，試料中には未分解の木片などが混入しているが，全体に繊維質の分解は進んでいる。外観は味噌状を呈し，繊維質な北海道の泥炭とは全く異なっている。フォンポスト法²⁾により分解度を測定した結果では，分解度が H8（強度に腐植化）~H9（ほとんど完全に分解）に分類され，極めて腐植化が進んでいる。

3. 実験装置の概要

(1) 実験装置および圧力制御システム

今回開発した全自動大型特殊圧密試験機の全体図を図-2に示す。試験装置は，荷重装置，圧力タンク，高精度レギュレータ（サーボモーター駆動式），サーボロガーで構成されている。荷重装置は，最大 500kN までの荷重が可能な空圧アクチュエーターを搭載し，また，供試体全体と供試体の中心部付近における圧密圧力の計測および制御が可能な構造を持つ。圧密圧力の検出にはロードセルを用い，沈下量の測定には 1/1,000mm 感度のデジタ

ルリニアゲージ（測長 100mm）を用いている。適用供試体寸法は，径 300mm，厚さ 100mm（現行の JIS で規定している供試体寸法の相似形）とし，圧密リングの内面は，周面摩擦の影響を低減するため，硬質クロムメッキ加工を施している。

圧密圧力の制御は，高精度レギュレータから圧力タンクに設定圧を一時的に蓄積し，それを電磁弁の解放によって空圧アクチュエータに供給する構造であるため，最小圧力 4.9kN/m²~最大圧力 627.6kN/m²の間で安定した圧力の制御が可能な構造となっている。

(2) 圧密リング摩擦の影響を受けない圧密圧力の測定

現行の圧密試験方法では，土と圧密リングの間に作用する周面摩擦の影響により，実際の圧密圧力が必ずしも正確に作用していないと考えられる。この問題を解決するため，周面摩擦の影響を受けない供試体中心付近における圧密圧力を測定することにより，正確な圧密特性を評価できるよう工夫した。

圧密圧力の測定方法の概念図を図-3に示す。荷重板は，内部荷重板（径 200mm）と，外部荷重板（径 300mm）の二重構造とし，荷重板は均等な変位が生じる構造とした。外部荷重板と内部荷重板の大きさは，軸対称の FEM 解析を行い，内部荷重板にリング周面摩擦の影響がないように決定した。荷重板に作用する全体圧密圧力 p は外部ロードセル（500kN）で測定し，内部荷重板に作用する周面摩擦の影響を受けない供試体中心付近の圧密圧力 p' は内部ロードセル（200kN）で測定を行う。両者で得られた圧密圧力の差がリングの周面摩擦力である。また，内部ロードセルで圧密圧力を制御することで，リング周面摩擦の影響がない正確な圧密圧力で試験の制御が可能である。

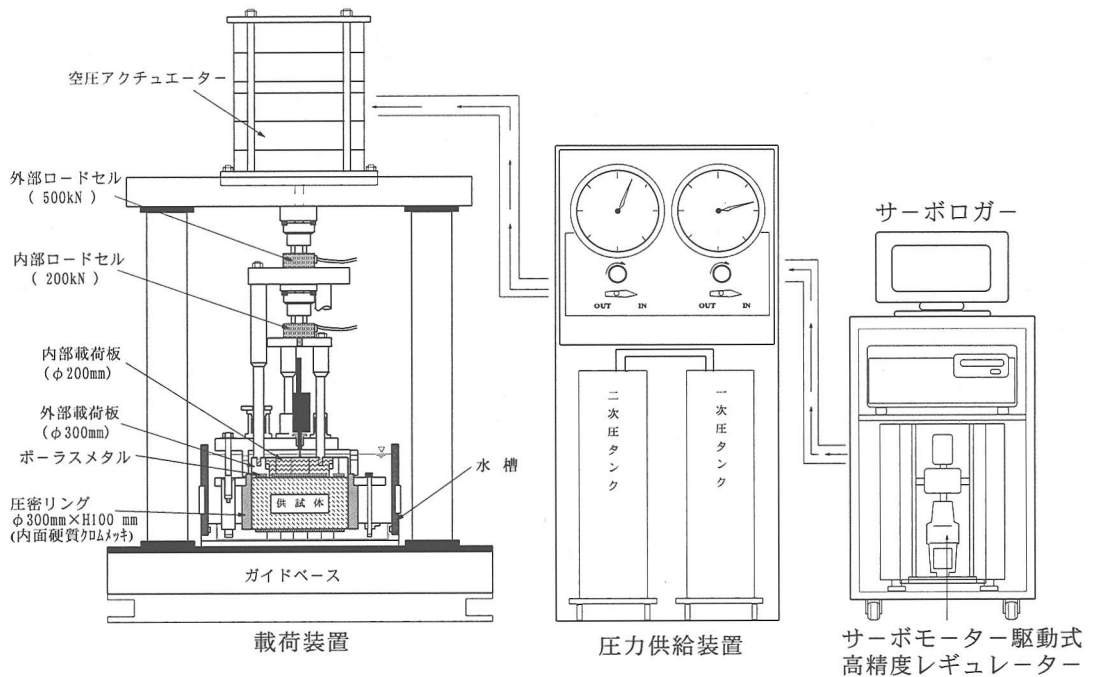


図-2 全自動大型特殊圧密試験装置の全体図

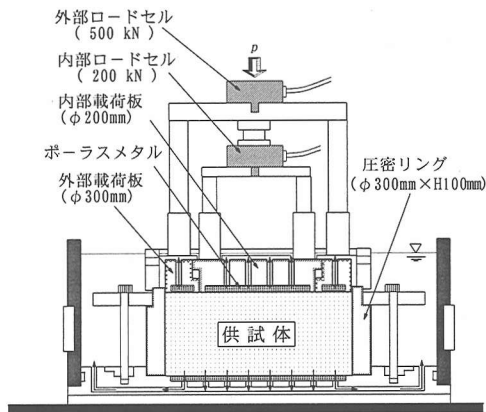


図-3 圧密圧力の測定方法

4. 実験結果と考察

(1) 大型段階載荷圧密試験

a) 実験目的

一般的に高有機質土は、有機物を多量に混入あるいはその大半が有機物より構成されており、未分解の木片等を含むことも多く、非常に不均質である。今回実験に用いた高有機質土も、その大半が有機物で構成され、分解が進み味噌状を呈するものの、木片等を混入して非常に不均質な状態にある。

このような、高有機質土を対象にして、適切な圧密特性を把握するためには、一般的に行われている圧密試験の供試体（径60mm、厚さ20mm）では、試料の不均質さの影響や試料成型時の攪乱の影響を受けやすく、正確な圧密特性の把握は困難と考えられる。このため、より大きな供試体を用いて実験することが、一つの対応策として考えられる。今回、現状のサンプリング技術、圧密試験機作製のコスト等を考慮して、径300mmの大型供試体を用いて段階載荷圧密試験を実施して、供試体の寸法が圧密特性に及ぼす影響を検討した。

b) 実験方法

実験に使用した供試体の寸法は、径300mm、150mm、60mmの3種類で、層厚はいずれも直径の1/3の相似形とした。圧密圧力は、荷重増分比を1として4.9kN/m²～627.6kN/m²間で段階的に載荷した。ただし、同一の圧密度でスケール効果を評価するため、各段階の載荷時間はいずれも一次圧密終了とした。一次圧密終了の判定は、曲線定規法によった。

試験装置は前述した空圧サーボ式の全自動大型特殊圧密試験装置（径150mm、60mm供試体についても同様の試験機を作製）を用いた。圧密リングは、内面に硬質クロムメッキ加工を施したのを用い、かつシリコンオイルを塗布して周面摩擦の低減を図った。また、供試体の上・底部には低圧縮性の透水性高分子薄膜を用いた。圧密リングに供試体を設置する際は、隙間の発生や攪乱の影響を防止するため、供試体に対し圧密リングを垂直に挿入

できる機能を持った器具を用いた。なお、試験実施に際しては、試験精度を上げるために圧密リングの周面摩擦を考慮して、供試体に有効に作用している圧密圧力を評価した。

c) 実験結果と考察

実験には試料の不均質さを考慮して、径 300mm, 150mm, 60mm の試料をそれぞれ 3 供試体ずつ使用した。各載荷段階での全圧密圧力 p (外部ロードセルの測定圧力) と内部ロードセルで測定したリング周面摩擦の影響を除いた供試体中心付近での圧密圧力 p' を、圧密圧力比 $p'/p \sim$ 圧密圧力 p の関係で整理し、図-4 に示した。各試料とも、過圧密領域では周面摩擦にばらつきがみられるが、正規圧密領域では $p'/p = 0.85 \sim 0.95$ の範囲に収束し、いずれも大差ない結果となっている。これは、応力解放等に起因する攪乱の影響が顕在化しやすい過圧密領域に対し、正規圧密領域ではそれが消失するためと考えられる。

このように、周面摩擦を極力少なくするようリングにシリコンオイルを塗布する等留意しても、正規圧密領域で約 1 割の圧密圧力がリング摩擦となり試料に有効に作用していない。これは、試験結果を沈下解析に適用する際に、無視できない大きい問題であろうと考えられる。

本研究では、すべての試験についてリング周面摩擦を考慮して実施しており、以降の実験結果の検討では、周面摩擦を考慮した試料に有効に作用している圧密圧力 p' を用いた。

過圧密領域及び正規圧密領域での代表的な沈下ひずみ $\varepsilon \sim$ 時間曲線を、図-5, 6 に示す。今回実験に用いた高有機質土の沈下ひずみ $\varepsilon \sim$ 時間曲線は、北海道等に分布する泥炭の傾向とは異なり、テルツァーギ型の理論曲線 (曲線定規法) の適用が可能であった。これは、今回用いた高有機質土の分解度が非常に高く、未分解の繊維質をほとんど残さないことが理由として考えられる。ただし、過圧密領域への適用は信頼性に欠ける面はある。

各供試体寸法での圧縮性を評価するため、図-7 に累積沈下ひずみ ε と圧密圧力 p' の関係を示す。通常は、間隙比 e を用いることが多いが、間隙比で整理すると高有機質土の不均質さにより初期間隙比がばらつくため、累積沈下ひずみ ε を用いた。過圧密領域における $\varepsilon \sim \log p'$ 曲線勾配は、径 300mm 供試体に比較して、径 60mm 及び径 150mm の方が急勾配を呈し、かつ、より低い圧密圧力で曲線の変曲点がみられる。このため、圧密降伏応力も相対的に小さくなっている。これは、サンプリングから整形に至る過程で生じた乱れの影響が、径 300mm よりも径 60mm 及び径 150mm の方がより顕在化したためと考えられる。一方、正規圧密領域では、径 300mm が径 60mm, 径 150mm の曲線に漸近する傾向がみられる。正規圧密領域での各荷重段階毎の沈下ひずみを比べると、径 60mm \rightarrow 150mm \rightarrow 300mm と供試体が大きくなる程より大きな沈下ひずみを

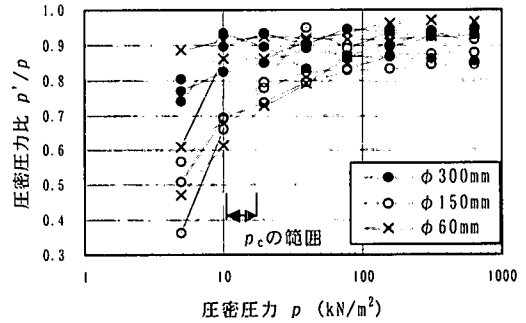


図-4 鉛直排水圧密リングの周面摩擦の影響

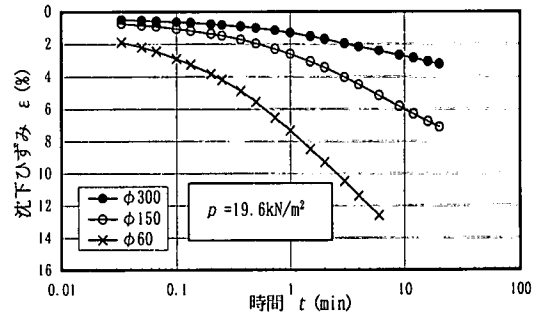


図-5 沈下ひずみ $\varepsilon \sim$ 時間曲線 (過圧密領域)

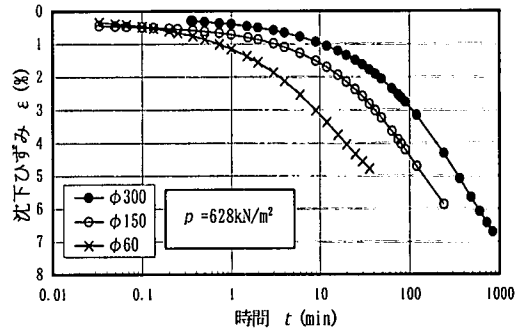


図-6 沈下ひずみ $\varepsilon \sim$ 時間曲線 (正規圧密領域)

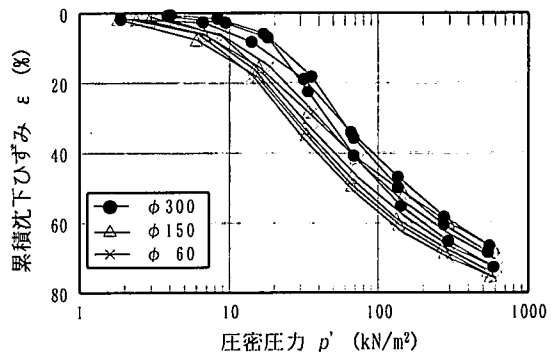


図-7 $\varepsilon \sim \log p'$ 曲線の試料の大きさによる比較

示す。この代表的な結果を図-6に示している。この結果は、網干・松田³⁾が粘性土に関して得ている供試体寸法効果（供試体層厚の増大とともに一次圧密沈下量は大きくなる）と一見整合する結果にみえる。しかしながら、径60mm及び150mmの供試体は、過圧密領域において試料の乱れに起因すると考えられる大きなひずみを生じており（図-5参照）、この影響が正規圧密領域での圧密量にも影響を及ぼしている可能性がある。最終載荷圧力による圧密終了後の累積沈下ひずみは、径60mm及び150mmに比べて、径300mmの方が約5%小さい結果となっている。このように、本実験結果からは、供試体の寸法効果に関して明確な結論はつけがたい。しかしながら、径300mmの大きさの供試体では、径60mmあるいは150mmの供試体でみられた乱れ等の影響が小さく、より正確な高有機質土の圧密特性の把握が出来ているものと判断できる。

図-8に供試体寸法変化に伴う圧密降伏応力 p_c 、圧縮指数 C_c の変化割合を、径60mmの結果を基準として示した（含水比の近い供試体同士で比較）。圧密降伏応力は、通常のカサグランデ法で求めるとともに、 $\log f \sim \log p'$ 曲線を作成し、その折れ点からも検証した。両者の結果は良く一致しており、図-8にはカサグランデ法で求めた結果を示した。圧縮指数は、 $e \sim \log p$ 曲線の正規圧密部分に直線部分が現れないため、その最急勾配を求めた。圧密降伏応力 p_c は、供試体寸法が大きくなるほど増加する傾向がみられ、径300mmでは、径60mmに比較して約2倍となっている。これは、前述したように小さい供試体の過圧密部分で乱れの影響が顕在化したことが原因と考えられ、径300mmの結果がより正確な圧密降伏応力を表しているものと判断できる。圧縮指数 C_c には、供試体の寸法による有意な差は認められなかった。

図-9に圧密係数 c_v と平均圧密圧力 \bar{p}' の関係を示す。 c_v は、径300mmのものがもっとも上位に位置し、その下に径150mm、60mmが位置している。各供試体とも、圧密圧力が高くなるにつれ直線的に c_v が小さくなる傾向がみられる。図-10に径60mm供試体を基準とした圧密係数 c_v の比と、正規化圧密圧力 \bar{p}'/p_c の関係を示した。これによると、 c_v は供試体寸法に比例して大きくなる傾向がみられる。径300mmの c_v は径60mmのものより、過圧密領域で約10~30倍、正規圧密領域で約2~3倍大きな値となっている。過圧密領域で、径60mm及び150mmの供試体の圧密係数が特に小さくなっているのは、乱れの影響により透水性自体が小さくなったことと、沈下ひずみが大きくなったことが影響している。正規圧密領域においては、径300mmの沈下ひずみの方が径60mm及び150mmのものより大きいにも関わらず、圧密係数は径300mmの方が大きい結果が得られた。なお、圧密係数の評価には、高有機質土の不均質性の影響が顕著に影響する可能性がある。このため、実験後の供試体全体を炉乾燥させ慎重に

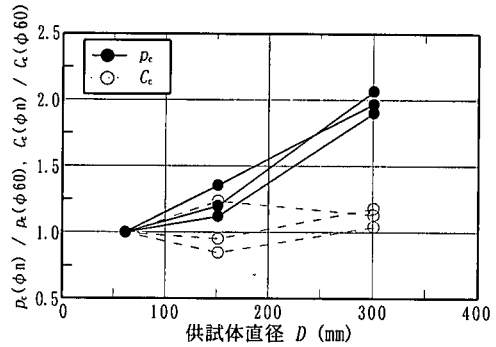


図-8 圧密降伏応力 p_c 及び圧縮指数 C_c の供試体寸法の違いによる比較

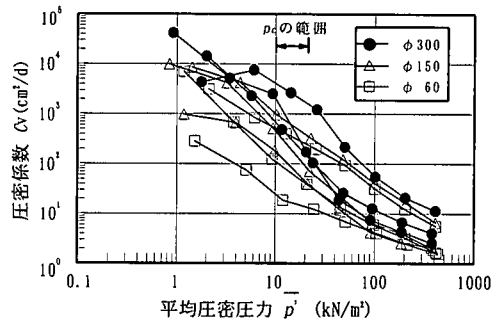


図-9 圧密係数 c_v の供試体寸法の違いによる比較(1)

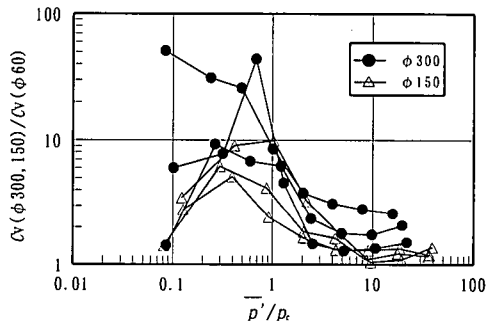


図-10 圧密係数 c_v の供試体寸法の違いによる比較(2)

含水比の測定を行い、含水比が700~900%に入るデータのみ採用し、範囲外のは再試験を行いデータの信頼性を高めている。圧密係数に関して、径300mm供試体の方が、乱れの影響を受けないより正確な圧密係数を示しているものと判断される。

(2) 大型水平排水圧密試験

a) 実験目的

これまで、粘性土に関して鉛直、水平方向の圧密係数 c_v の異方性がバーチカルドレーンの有効性の観点から数

多く議論されているが、水上ほか⁴⁾によると、均一で一般的な海底沖積地盤においては、水平方向圧密係数 c_h は鉛直方向圧密係数 c_v よりもせいぜい 1.5~2.0 倍であり、極端な透水異方性をもたないとされている。これに対し、佐々木ほか⁵⁾、大平⁶⁾、木暮ほか⁷⁾によって実施されている北海道の泥炭を対象にした研究では、不攪乱状態の透水係数を室内定水位透水試験あるいは現場透水試験で求めており、概ね鉛直と水平の透水異方性として、 $k_v/k_h=2\sim6$ の値が得られている。これは、高有機質土を構成している配向構造が水平方向に発達していることに起因するものと推測される。今回用いた高有機質土は、近畿圏に分布する高有機質土で、含水比、圧縮性等が大きいという点では北海道泥炭と似かよっている。しかし、気温等の堆積時の環境が異なるために分解が進んでおり、北海道のものとは比べ明瞭な繊維質が残っておらず、いわゆる「味噌泥炭状」を呈している。

今回の実験では、本地区の高有機質土がどの程度の透水異方性を示すのか、圧密の進行に伴って異方性がどの程度変化するかという観点から、水平排水圧密試験（二次元放射排水）を行った。また、高有機質土の場合、試料中に木片、灌木類が混じっていることが多く、これら弱点部の周りが水みちとなりやすいため、小さい供試体では正確な異方性が把握できない可能性があるため、今回は大型供試体（径 300mm、厚さ 100mm）を用いてより現場に近い状態で試験を実施した。

b) 実験方法

試験装置は、図-2 に示した全自動大型特殊圧密試験機を用いて実施した。水平方向排水用の圧密リングは、図-11 に示す水平方向に排水孔を設けた圧密リングの内面に、ポーラスメタルを設置し、二次元放射排水を再現した。また、鉛直方向に排水を許さないために、外部・内部の載荷板および底板は無垢板とし、外部載荷板の側面には止水材を設置した。

圧密圧力は、前述の鉛直方向の段階載荷圧密試験と同じで、荷重増分比を 1 として 4.9kN/m²~627.6kN/m²間で段階的に載荷した。各段階の載荷時間はいずれも一次圧密終了とし、一次圧密終了の判定は、曲線定規法によった。ただし、 c_h は本試験機の排水条件を満たす熱伝導の基本方程式と同型の二次元圧密方程式を差分法で解いた圧密度~時間関係から作成した曲線定規を使用し、 $c_h=0.0665 \cdot R^2/t_{50}$ (R : 供試体半径) により算定した⁸⁾。

c) 実験結果と考察

実験は、試料の不均質さを考慮して 3 供試体実施した。鉛直排水の場合と同様に、含水比が 700~900% に入るデータのみ採用し、範囲外のは再試験を行いデータの信頼性を高めている。

各載荷段階での全圧密圧力 p (外部ロードセルの測定圧力) と内部ロードセルで測定したリング周面摩擦の影響

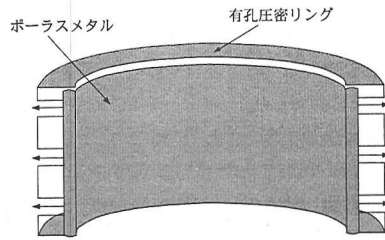


図-11 水平排水圧密試験用圧密リングの断面図

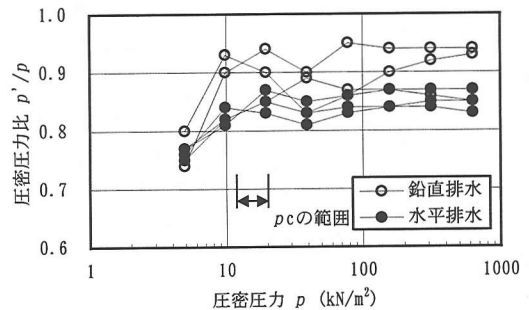


図-12 鉛直排水と水平排水のリング周面摩擦の比較図

を除いた供試体中心付近での圧密圧力 p' を、圧密圧力比 p'/p ~ 圧密圧力 p の関係で整理し、鉛直排水の場合と比較して図-12 に示した。径 300mm の鉛直排水の結果では平均的に $p'/p=0.9$ とみなせるが、水平排水の場合は $p'/p=0.85$ とややリング周面摩擦が大きくなる。これは、水平排水圧密試験に使用したポーラスメタルの影響である。

正規圧密領域での代表的な沈下ひずみ ε ~ 時間曲線を、鉛直排水との比較で図-13 に示す。沈下曲線の形状はテルツァーギ型で、鉛直と水平が似かよっている。水平排水の場合の方が、鉛直排水の場合よりも排水距離が長いから、図-13 から圧密係数は水平排水の方が大きくなることは容易に理解される。

図-14 は、鉛直排水の場合と水平排水の場合の $\varepsilon \sim \log p'$ 曲線を比較したものである。各曲線には、鉛直、水平の排水条件に起因すると思われる差異は認められない。また、 p_c や c_c にも差異はみられない。

図-15 には、鉛直方向と水平方向の圧密係数 (c_v , c_h) と平均圧密圧力 \bar{p}' の関係を示している。 c_v は、前述のとおり正規圧密領域においても一定値を示さず、 \bar{p}' と共に低下する傾向を示すが、 c_h は p_c 付近を境界として曲線勾配が緩やかになり一定値に収束する傾向が認められる。このため、 c_h は c_v よりも高い値を示し、その差は \bar{p}' とともに大きくなっている。ただし、過圧密領域では両者の関係が不明瞭である。

図-16 には、含水比が最も近い供試体同士の c_v と c_h

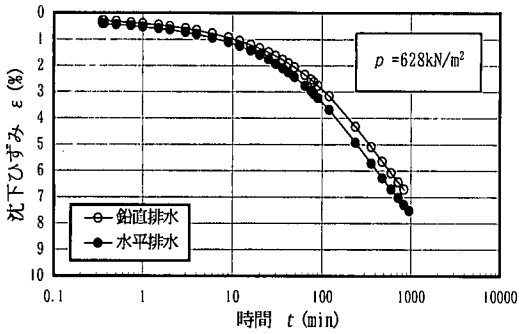


図-13 沈下ひずみ ε ~ 時間曲線 (鉛直, 水平)

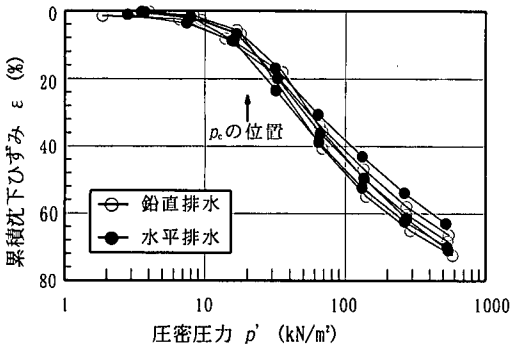


図-14 $\varepsilon \sim \log p'$ 曲線の比較

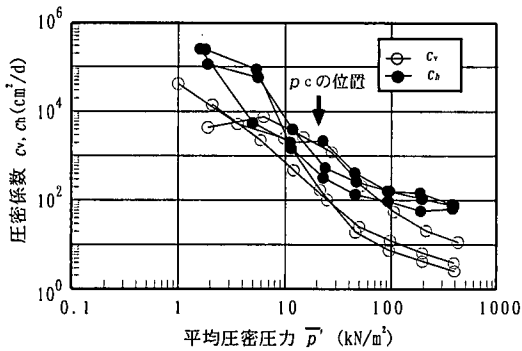


図-15 圧密係数 c_v , c_h の比較(1)

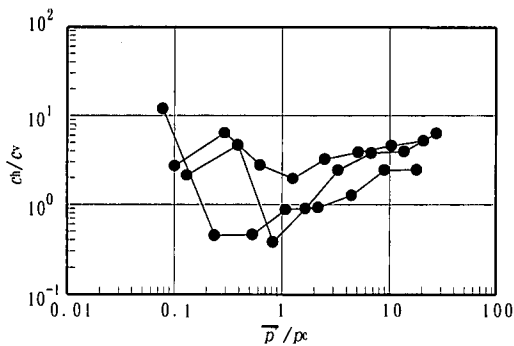


図-16 圧密係数 c_v , c_h の比較(2)

の比と正規化圧密圧力 \bar{p}'/ρ_c の関係を示す。正規圧密領域の c_h/c_v は、 \bar{p}'/ρ_c に比例して増大する傾向が見られる。 c_h は c_v の概ね 2~5 倍を示し、平均的には $c_h=3c_v$ 程度となっている。

本地区の高有機質土についても顕著な透水異方性があることが確認された。また、正規圧密領域については、圧密圧力が大きくなるにつれ透水異方性が顕著になることが判明した。この理由は、圧力の増加とともに繊維分が潰され、鉛直方向の透水性が水平方向に比べ顕著に低下することが原因として考えられる。

(3) プレロード工法を考慮した大型長期圧密試験

a) 実験目的

高有機質土は、二次圧密沈下が顕著な材料として知られている。二次圧密沈下を抑制するための工法としてプレロード工法が多く採用されているが、実際には施工後の再沈下現象により問題を引起す事例も少なくない。一般的に、一定の圧密圧力を載荷した際の二次圧密特性については多くの研究がなされている。これに対し、プレロードにより圧密圧力を載荷して、その一部を除荷した場合の除荷後の二次圧密特性については研究の数も少なく^{9)~13)}、圧縮性が大きく二次圧密が大きいとされる高有機質土では、体系的なプレロード工法の考え方が確立されていない。このため、本実験においては、載荷-除荷を伴う長期圧密試験を実施して、地盤を人工的に過圧密状態にした際の二次圧密特性について検討した。

b) 実験方法

供試体は、大型供試体(径 300mm, 厚さ 100mm)を用いて、排水方向は鉛直とした。圧密圧力は、周面摩擦の影響が除荷時で大きいと考えられることから、供試体中心の圧力 p' を一定に制御した。また、圧密圧力の除荷に伴って過圧密化した地盤で予想される二次圧密特性は、載荷・除荷の応力履歴を一つの供試体に対して段階的に与えることによって求めた。なお、実験には各プレロード荷重に対して別々の供試体を用いることが理想的であるが、試料のばらつきが大きく、同一の試料を準備することが困難であったため、1 個の試料を用いて一連の試験を実施した。この場合、時間の経過とともに二次圧密係数が変化することが考えられたため、事前に単一荷重で 70 日間長期圧密試験を実施して、この期間内では二次圧密係数はほぼ一定であることを確認した。

試験時の圧密圧力 p' と累積沈下ひずみ ε の経時変化概念図を図-17 に示す。本試験では、荷重増分比を 1 として、最終圧密圧力 p_2 (147kN/m²) までの間を、一次圧密終了を基準に段階載荷した。まず、この状態で放置し、処女載荷時の二次圧密係数を求めた。その後、プレロード圧密圧力 p_1 と最終圧密圧力 p_2 の比 (p_1/p_2) を OCR と定義して、OCR=1.5~3.0 相当の圧力をプレロードと

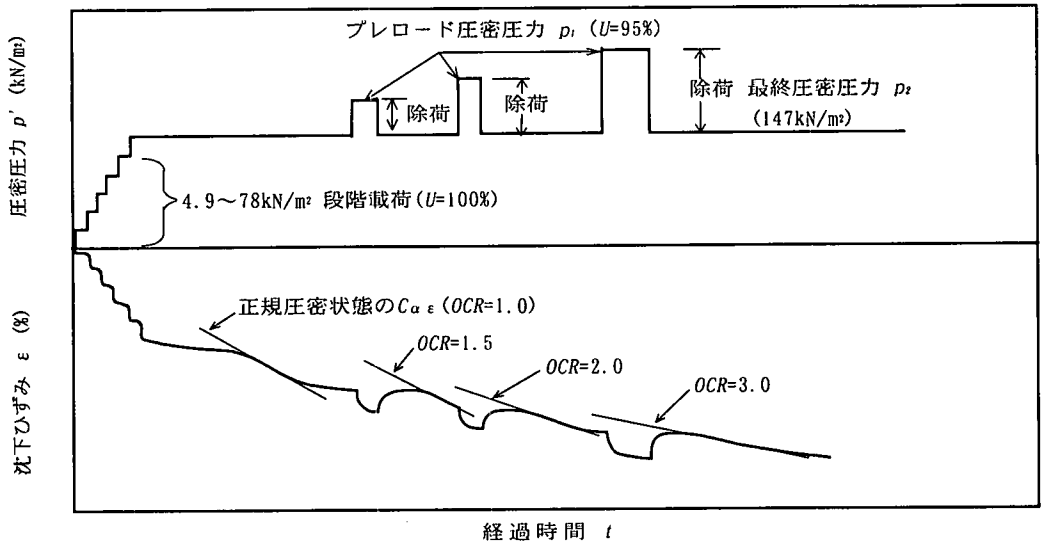
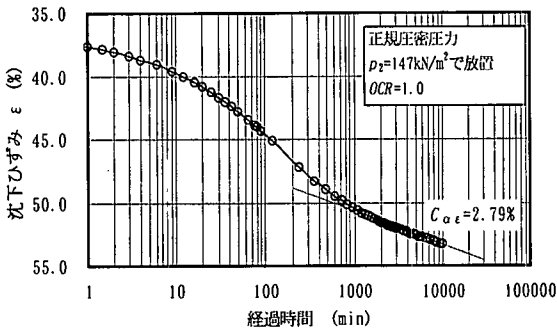
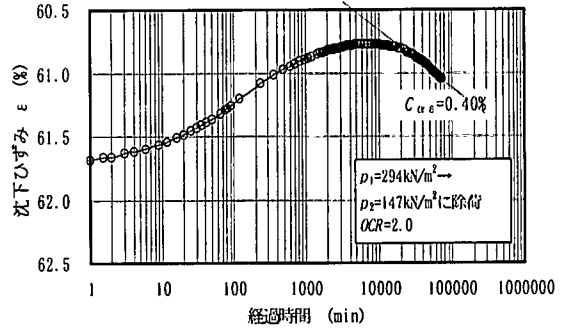


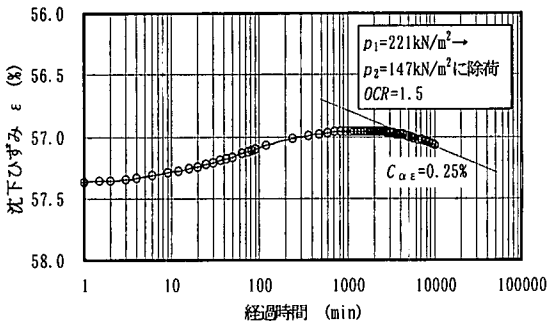
図-17 圧密圧力と時間～沈下ひずみの概念図



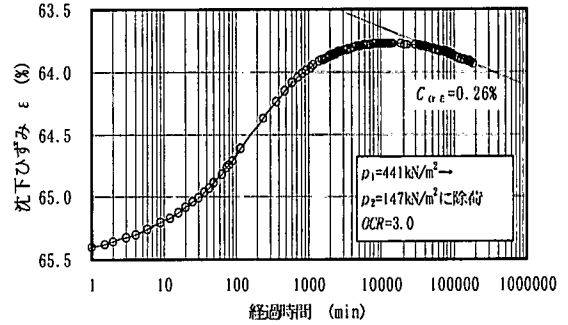
(1) 正規圧密圧力 $p_2=147\text{kN/m}^2$ で放置



(3) $p_1=294\text{kN/m}^2 \rightarrow p_2=147\text{kN/m}^2$ に除荷



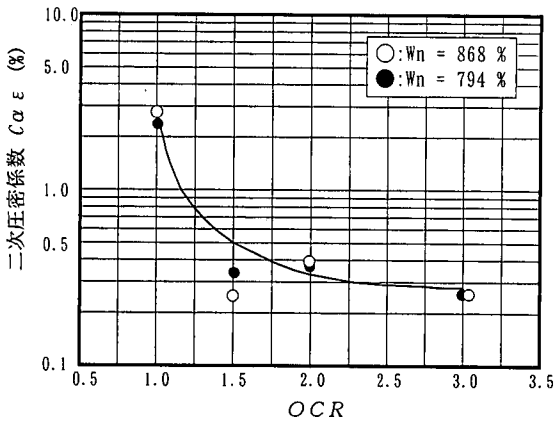
(2) $p_1=221\text{kN/m}^2 \rightarrow p_2=147\text{kN/m}^2$ に除荷



(4) $p_1=441\text{kN/m}^2 \rightarrow p_2=147\text{kN/m}^2$ に除荷

図-18 沈下ひずみの経時変化図

(自然含水比 $w_n=868\%$ 、強熱減量 $L_i=87\%$)



図一十九 二次圧密係数とOCRの関係

して与え、最終圧密圧力 p_2 に除荷した際の二次圧密係数を求めた。なお、プレロード圧密圧力の載荷時間は現場での施工を考慮して圧密度 95% とし (大型段階載荷圧密試験と同様に曲線定規法により求めた)、最終圧密圧力での放置時間は、時間 (対数) と累積沈下ひずみの関係に直線関係が確認されるまで継続した。

c) 実験結果と考察

圧密圧力と沈下ひずみの経時変化図を図-18 に示す。図中の時間軸の原点は、処女載荷時 ($OCR=1.0$) が $p_2=147\text{kN/m}^2$ に達した瞬間、 $OCR=1.5\sim 3.0$ の場合がプレロード圧密圧力 p_1 を除荷した瞬間とした。

今回用いた試料は、最終圧密圧力 p_2 (147kN/m^2) に到達する間の累積沈下ひずみが 50% を越えるほど大きな圧縮性を示している。また、プレロード除荷後の沈下ひずみと時間の関係から、いずれも、一時的に膨張傾向を示し、その後平衡状態を経て再沈下挙動を示している。除荷による膨張量は、 OCR が大きいほど大きくなり、 $OCR=1.5$ では膨張ひずみ $\varepsilon=0.4\%$ であったものが、 $OCR=3.0$ では $\varepsilon=1.8\%$ となる。膨張後再沈下に移行する時間は、 OCR が大きいほど遅くなる傾向が見られる。 $OCR=1.5$ ではプレロード除荷後再沈下に移るのに約 1 日であるのに対し、 $OCR=3.0$ では約 1 週間を要する。 OCR を大きくするほど、再沈下発生の日を遅らせる効果が認められる。

プレロード除荷後の二次圧密係数と OCR の関係を図-19 に示す。ただし、 $OCR=1$ は処女載荷時の二次圧密係数であり、 $OCR=1.5\sim 3.0$ は除荷後再沈下時の値である。値に多少のばらつきはみられるが、 OCR の増加に伴って二次圧密係数が低下する傾向がみられ、 $OCR=1.0\sim 1.5$ での低下が顕著である。 $OCR=1.5\sim 3.0$ における二次圧密係数は、概ね $c_{\alpha\varepsilon}=0.2\sim 0.4\%$ と正規圧密時よりも約 1/10 程度に低下する結果となった。

今回の試験結果は、乱れや不均一性の少ない大型の供

試体を用いており、しかも周面摩擦の影響の少ないリング中心付近の圧密圧力で試験を制御しているため、試験データの信頼性は高いと考えられる。この結果等から判断して、プレロード圧密圧力は最終仕上がり圧密圧力の 1.5 倍あれば十分であり、このプレロード圧力で一次圧密の 95% まで圧密を進行させることにより、プレロード除荷後の二次圧密を相当量減少させることが可能であることが明らかとなった。

5. まとめ

大型供試体 (径 300mm, 厚さ 100mm) を用いて高有機質土の圧密特性について検討した。本実験により得られた知見を以下にまとめる。

(1) 本実験では、圧密リングの周面摩擦の影響を考慮できる全自動大型圧密試験機を開発して試験を実施した。圧密リング周面摩擦は、正規圧密領域において、鉛直排水用リングで載荷圧力の約 10% が、水平排水用リングで約 15% が周面摩擦として作用して、供試体に有効に働いていないことが判明した。このため、本実験ではリング周面摩擦の影響が少ない供試体中心部の圧密圧力を用いて、試験結果を評価した。

(2) 大型段階載荷圧密試験結果から、大型供試体では標準供試体 (径 60mm, 厚さ 20mm) と比較して最終荷重時 (627.6kN/m^2) で約 5% 累積ひずみが小さく、圧密降伏応力は約 2 倍大きい値を得た。標準供試体では、乱れの影響が顕在化しやすく、 $\varepsilon\sim \log p'$ 曲線が全体に下に位置し、圧縮性が大きく、圧密降伏応力が小さくなったものと考えられる。圧密係数は、供試体の層厚が厚いほど大きくなる傾向が確認された。正規圧密領域の圧密係数は、大型供試体が標準供試体の約 2~3 倍であった。

(3) 大型水平排水圧密試験結果から、水平方向圧密係数 c_h は、圧密降伏応力付近を境界として曲線勾配が緩やかになり一定値に収束する傾向が得られた。一方、鉛直方向圧密係数 c_v は、正規圧密領域においても一定値を示さずに圧密圧力とともに低下する傾向を示す。両者を比較すると、 c_h は c_v よりも高い値を示し、その差は圧密圧力とともに大きくなる。 c_h は c_v の概ね 2~5 倍を示し、平均的には $c_h=3c_v$ であった。このように、正規圧密領域については、圧密圧力が大きくなるにつれ透水異方性が顕著になることが判明した。

(4) プレロード工法を考慮した大型長期圧密試験結果によると、プレロード除荷後には一時的に膨張傾向を示し、その後平衡状態を経て再沈下挙動を示すことが観察された。膨張量はプレロード圧密圧力が大きいほど大きく、再沈下に移行する時間はプレロード圧密圧力が大きいほど遅くなる傾向がある。また、再沈下時の二次圧密

係数 $c_{\alpha, \epsilon}$ は、プレロード圧密圧力で一次圧密の 95% まで載荷後除荷した場合、プレロード圧密圧力が最終仕上がり圧力の 1.5 倍以上あれば、処女載荷時の二次圧密係数の 1/10 前後に低減することが判明した。

以上のように、大型供試体を用いた各種圧密試験を実施することにより、高有機質土についてより精度の高い圧密特性が把握できた。ただし、この結果をそのまま原地盤に適用するにはまだまだ多くの課題が残されている。特に、供試体寸法が今回用いた径 300mm のもので原地盤の沈下現象を十分説明できる資料となるのか、あるいは今回の結果をどのような形で沈下解析に取り込んでいくのかなどが大きなポイントである。今後の計画として、更に大きな寸法でのサンプリング(径 600~1,000mm)や、原地盤での試験盛土を考えており、より適切な土質定数が決定できるように更に検討していく予定である。

謝辞：本研究を実施するに際し、京都大学工学部足立紀尚教授に多大なるご指導を仰ぎましたことに対し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 河野英一：室内圧密試験および試験結果の整理上の問題点、高有機質土地盤の諸問題に関するシンポジウム，土質工学会，pp. 6-9，1993.
- 2) 地盤工学会編：土質試験の方法と解説，pp. 734-736，2000.
- 3) 網干寿夫，松田博：粘土の二次圧密と沈下解析，土と基礎，Vol. 29，No3，pp. 19-24，1981.

- 4) 水上純一，小林正樹，土田孝：粘性土の水平方向圧密係数，土木学会論文集，No. 535/III-34，pp. 1-12，1996.
- 5) 佐々木晴美，能登繁幸，木元喬之：泥炭の工学的性質の特異性に関する考察，有機質土に関するシンポジウム，土質工学会，pp. 21-24，1977.
- 6) 大平至徳：泥炭，基本的性質と調査・設計，施工技術，4巻，6号，pp. 148-164，1971.
- 7) K.Kogure, H.Yamaguchi, Y.Ohira and H.Ishioroshi : Physical and engineering properties of a peat ground, *Proc. of advances in Peat land Engineering, NRCC*, pp.95-100, 1986.
- 8) 赤木俊允：粘土の水平方向圧密係数，第 25 回土質工学研究発表会講演集，pp. 341-342，1985.
- 9) 室町忠彦，渡辺進：プレローディング工法に関する基礎的実験，土と基礎，Vol. 11，No6，pp. 3-10，1963.
- 10) 網干寿夫，松田博：層別計測による事前圧密工法の基礎的研究，土木学会論文報告集，第 340 号，pp. 139-144，1983.
- 11) 赤石勝，外崎明，似内政康，稲田倍穂：サーチャージ除荷後の沈下予測，土木学会論文報告集，第 315 号，pp. 95-101，1981.
- 12) 能登繁幸：泥炭地盤の沈下量の予測に関する考察，土質工学論文報告集，Vol. 27，No. 2，pp. 107-117，1987.
- 13) 深沢栄造，山田清臣，栗原宏武：プレローディング工法で改良した高有機質土地盤の長期沈下挙動，土木学会論文集，No. 493/III-27，pp. 59-68，1994.

(2000. 10. 20 受付)

EVALUATION OF CONSOLIDATION CHARACTERISTICS OF AN ORGANIC SOIL USING LARGE DIAMETER (300mm) SPECIMEN

Fusao RITO, Daihachi OKAI, Tomohisa MEKATA,

Masato KUSUMI and Fumihiro MOCHIDA

The purpose of this study is to estimate the sample scale effect on consolidation characteristics, permeability and secondary consolidation of an organic soil. Large sized specimens of organic soil, having a diameter of 300mm and a thickness of 100, were prepared for consolidation tests. Specially designed automated large size consolidation apparatus, capable of measuring the ring friction and the horizontal coefficient of consolidation, was used to investigate. Consolidation on large sized specimen is found to provide high quality data without the influence of disturbance and non-homogeneity. Compared to ordinary soils, organic soil was found to possess significantly longer coefficient of consolidation anisotropy between horizontal and vertical directions. It was also found that preloading of the organic soil specimen to 1.5 times the final consolidation pressure would reduce its coefficient of secondary consolidation in normally consolidated region by 10 times.