

大阪湾上部洪積粘土層 (Ma 12) の圧縮特性および強度特性

COMPRESSION AND STRENGTH CHARACTERISTICS OF UPPER
PLEISTOCENE CLAY (Ma 12) IN OSAKA BAY

谷本喜一*・田中泰雄**・末広匡基***

By Kiichi TANIMOTO, Yasuo TANAKA and Masaki SUEHIRO

This paper deals with the mechanical properties of the Upper Pleistocene Clay which is deposited typically at the depth of 70 to 90 m below sea level in the north areas of the Osaka Bay. The compression characteristics of the clay was investigated by carrying out a series of strain controlled drained triaxial tests including tests with K_0 condition. The test results indicate that the variation of pre-consolidation pressure increases almost linearly with depth as compared with a large scatter of the data obtained from standard oedometer tests. Also the effect of aging on the mechanical properties of the clay was studied by comparing the behaviour of undisturbed and re-sedimented samples during oedometer and undrained triaxial tests. The results indicate that there is a significant effect of aging on the clay behaviour.

Keywords : upper pleistocene clay, compression curve, drained triaxial test, time effect, undrained shear strength

1. ま え が き

近年、大阪湾臨海域の埋立造成において、比較的深部に位置する上部洪積粘土の沈下がしばしば問題となっているが、その工学的性質については十分に解明されてなく、また基本的な力学特性の決定法についても究明すべき点があるようである。たとえば、圧密試験から得られる降伏応力のばらつきが洪積粘土では特に大きく、その原因がサンプリング時の試料の乱れによるものか、標準圧密試験の荷重増加率が洪積粘土のように硬質な材料に適するかどうかなどの点について、明確な結論は得られていないと思われる。また洪積粘土は硬質であるが、正規圧密域での圧縮性は軟弱な沖積粘土よりも大きい場合が多く、その原因が土性の違いによるのか年代効果などによるものかどうかなど、土質力学上の疑問点も多い。したがって、洪積粘土の工学的性質とその影響因子との相関について究明すべき点が多いと考えられる。

本研究では、洪積層の最上部に位置する上部洪積粘土

(Ma 12) の基礎的な圧縮および強度特性について種々の面から検討を加えた。まず、従来の標準圧密試験に替えて排水三軸圧縮試験を実施し、連続的な応力~ひずみ関係から得られる圧縮特性や圧密降伏応力などについて検討した。さらに、洪積粘土の乱さない状態とスラリーから再圧密した状態での力学特性を比較し、工学的性質に及ぼす堆積過程の影響について考察した。

2. 上部洪積粘土に関する従来の研究

大阪湾周辺の洪積地盤に関する研究は、約25年前に実施された深層ボーリング調査(OD-1ほか)を契機として始まったが¹⁾、近年神戸ポートアイランドや関西国際空港建設などの大型埋立工事に即応して急速に研究が進められている²⁾⁻⁴⁾。大阪地盤には十数枚の海成粘土層が挟まれており、その堆積年代の順にMa 0~Ma 13までの番号が与えられている。これらの粘土層の生成については、地球規模の海面昇降に伴う海進・海退のサイクルによって、海成の粘土層とその間に砂質土層が交互に堆積されたと考えられている。最上部に位置する粘土層(Ma 13)は沖積粘土層であり、その下のMa 12とMa 11の2層は上部洪積粘土層とよばれ、主に段丘堆積層である。下位の粘土層(Ma 10~Ma 0)は大阪層群に分類されている。

* 正会員 工博 神戸大学教授 工学部土木工学科
(〒657 神戸市灘区六甲台町 1-1)

** 正会員 Ph. D. 神戸大学助手 工学部土木工学科
(同上)

*** 学生会員 神戸大学大学院自然科学研究科在学
(同上)

上部洪積粘土は一般に $OCR=1.3$ 程度の軽い過圧密の状態であることが判明している。その原因は赤井³⁾によれば年代効果による擬似過圧密が主であるとされているが、小野寺⁵⁾のように海退に伴う地下水位の低下が主な原因であるとする報告もある。しかしいずれの場合も、圧密試験から得られる圧密降伏応力のばらつきの問題や、寒冷期における海面水位の仮定が必要な点など、明確な結論を出すためにはまだ研究の余地が残されているようである。

3. 調査地点の地盤状況

本研究では、大阪湾北部沿岸に位置する神戸東部の埋立地において実施された2か所のボーリング調査から、乱さない洪積粘土試料を採取し、その圧縮および強度特性について検討した。Fig. 1は調査から得られた柱状図と物理試験結果の一部を示したものである。図のように調査地点においては、洪積粘土上端部の標高は海面下約70~75mで確認され、2地点における粘土層の標高は若干異なるが層厚はほぼ同じの約20mであった。この洪積粘土層の地質層序については微化石分析などの地質学的調査が実施されており、一般に大阪地盤における上部洪積層のMa12に対比されることが判明している^{6),7)}。

また洪積粘土の土性の深度変化に注目すると、粘土層の中央部で最も高い塑性が得られ、上下端面に近づくに従って塑性は緩やかに低下している。微化石分析から洪積粘土は海進・海退のサイクルによって堆積されたことが判明しており⁸⁾、コンシステンシーの深度変化は堆積環境の変化とも一致していると考えられる。なお、乱さ

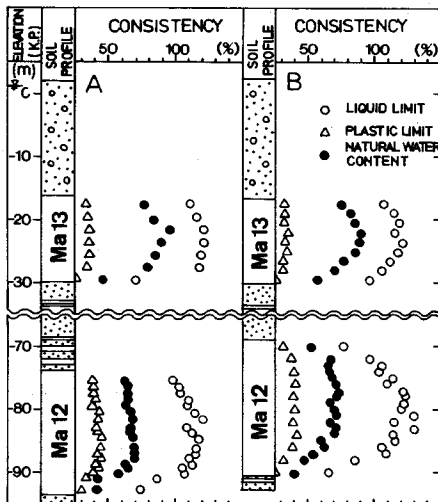


Fig. 1 Variation of index properties with depth (Bore Hole A and B).

ない試料の採取にはデニソン・サンプラーが使用されており、後述する三軸圧縮試験にはサンプルチューブより抜き出された試料をストレートエッジなどで成形して供試体を作成した。

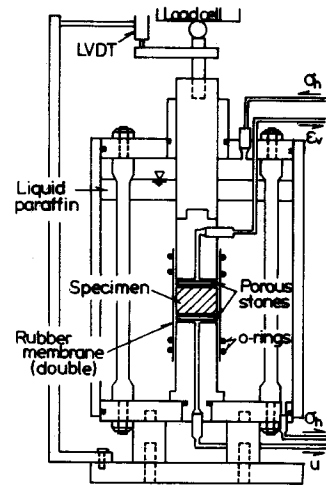
4. 乱さない試料の圧縮および強度特性

乱さない試料の圧縮および強度特性を究明するために次の2つの実験を実施した。1つは圧縮特性を精度よく決定するための排水三軸試験であり、他方は正規圧密状態における強度特性決定のための非排水三軸試験である。排水三軸試験では主に一次元圧縮を考慮して K_0 条件での圧縮特性を検討したが、その他の応力状態での圧縮性を検討するために少数の応力比一定・排水三軸試験も実施した。以下に試験方法について概述する。

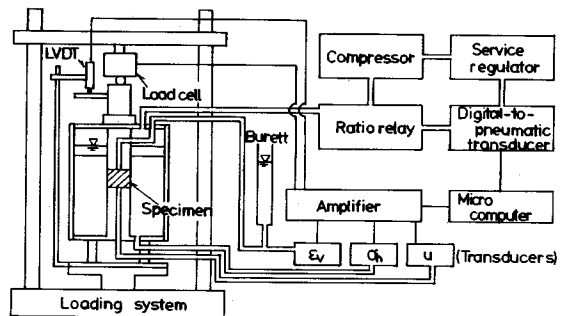
(1) 試験方法

a) 排水三軸試験

圧縮特性を決定する方法として、本研究ではひずみ制御による排水三軸試験を実施し連続的な圧縮曲線を求めている。装置の概要および計測・制御のシステムを示す



(a) Test apparatus



(b) Control system

Fig. 2 Layout of apparatus for drained triaxial test.

と Fig. 2(a), (b) のようである。供試体は直径 35 mm, 高さ 20 mm であり, 上方からの片面排水である。排水条件で圧縮するために低速度 (約 2.0×10^{-3} %/分) で載荷しており, 目標とした最終ひずみ量の 15% に達するまで約 5 日を要している。なお, 排水条件が満足されているかどうかを検討するために, Fig. 2(a) に示すように供試体下端において間隙水圧を計測した。その測定値は軸応力の約 1% 以下であったため排水条件が満足されたと判断した。また三軸試験において, 長期間の体積変化を測定するうえで問題となるものの一つにメンブレンの透気量があるが, 側液に脱気水を用い, 側液上の流動パラフィンを通して空気圧を与える方法⁹⁾によりほとんど透気量の影響がないことを確認している。

K_0 試験については剛な圧密リングの使用も考えられるが, 今回は周面摩擦の影響をなくするために, 供試体をメンブレンで包み水平変位が常に零となるように載荷中に側圧を調整した。そのために, 軸変位と排水量をそれぞれ変位変換器 (LVDT, 最大変位量: 5 mm) とビューレットに連動した微圧センサーとを用いてパーソナルコンピュータで自動計測し, そこで計算された水平変位が常に零になるように側圧を自動制御した。なお本実験では供試体の側面に濾紙を巻かず, 試料上端からの片面排水で載荷した。したがって供試体の軸方向に圧密度が異なり, 水平変位も若干異なることが予想された。このため供試体高さを低くするとともに (20 mm), 載荷速度をできるだけ遅くした結果, 先述のように間隙水圧はほとんど発生していないことが確認され, 軸方向における水平変位の差は少ないと考えた。具体的には, Fig. 2(b) のように軸変位・体積変化の計測値を軸荷重と供試体下端の間隙水圧とともに直流アンプ・A/D コンバータを通じてパーソナルコンピュータに入力・記録させ, コンピュータから出力されたデジタル信号でレギュレータを作動させ三軸室の側圧制御を行った。一方, 応力比一定の試験については, 計測された軸応力の値に応じて側圧を自動制御し, 両者の比が常に一定になるようにコンピュータの制御プログラムを作成した。なお水平応力の最大値は, 今回使用した装置の都合により約 1000 kPa とした。

b) 非排水三軸試験

本実験では正規圧密状態における乱さない洪積粘土試料の強度特性を把握しようとしている。このため, 一般に過圧密粘土を十分な正規圧密状態に戻すために必要であるとされる, 圧密降伏応力の約 2~3 倍¹⁰⁾ の圧密応力を加えて非排水せん断試験を実施した。三軸試験に用いた試料の圧密降伏応力 p_c は約 600~900 kPa であるため, 現有の実験装置などの性能をもとに, 最大圧密応力として等方圧 1600 kPa を選んだ。本試験では, 圧密応

力は通常の三軸試験より高いが, その他の試験条件は標準的なものを採用した。

(2) 実験結果

本研究で実施した K_0 条件・排水三軸試験の一覧を示すと Table 1 のようである。また, 得られた $e \sim \log \sigma'_v$ 関係の例を示すと Fig. 3, 4 の実線のようなものである。同図には, 標準圧密試験から得られた $e \sim \log \sigma'_v$ 関係が破線により示されている。排水三軸試験では装置の都合で最大水平応力を約 1000 kPa としたため, 正規圧密領域に

Table 1 Summary of drained triaxial test results.

| SAMPLE NO. | ELEVATION (m) | NATURAL WATER CONTENT (%) | PRE-CONSOLIDATION PRESSURE p_c | |
|------------|---------------|---------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| | | | from $e \sim \log \sigma'_v$ (kPa) | from $\alpha'_v - \epsilon_a$ (kPa) |
| 1 | -71.0 | 63.3 | 610 | 610 |
| 2 | -75.0 | 70.0 | 750 | 750 |
| 3 | -79.0 | 65.9 | 1010 | 910 |
| 4 | -81.0 | 72.1 | 900 | 980 |
| 5 | -83.0 | 59.4 | 1130 | 1070 |
| 6 | -87.0 | 52.7 | 1110 | 1130 |
| 7 | -89.0 | 39.2 | 1250 | 1270 |

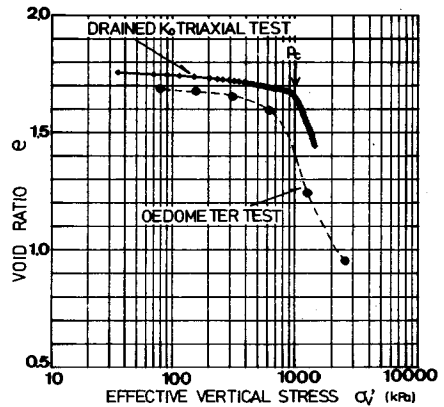


Fig. 3 Comparison of compression curves (Sample 3).

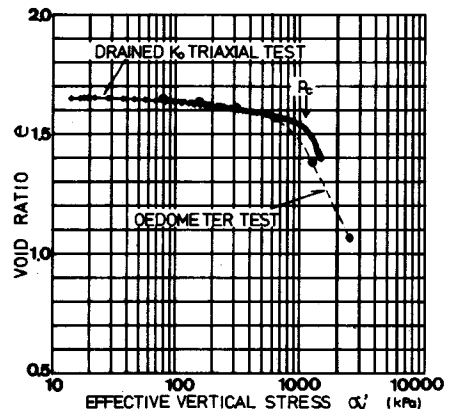


Fig. 4 Comparison of compression curves (Sample 5).

おける $e \sim \log \sigma'_v$ 関係を十分に求めることができなかった。しかし同図から明らかなように、排水試験では降伏応力を越えると圧縮性が急激に増加する挙動が把握できる。一方、標準圧密試験では荷重増加率が一定であるため、洪積粘土のように降伏応力が大きいと、降伏応力付近における荷重増加幅が大きくなり圧縮曲線を精度よく決定することが困難である。Fig. 3, 4 の荷重と軸ひずみとの関係を普通目盛によって表わしたものが Fig. 5, 6 である。図のように、普通目盛によっても排水試験の圧縮曲線は降伏応力付近で明瞭な折れ曲がりを示す。また、過圧密領域の変形特性は標準圧密試験に比べて剛性が大きく、Fig. 5, 6 にみるように軸ひずみとして約 20~30% ほどの差が生じている。以上のように排水圧縮試験から得られる圧縮曲線は、降伏応力の前後において明瞭な弾性的変形から塑性的変形への移行を示しており、標準圧密試験の場合に比べて段階载荷などによる試料乱れの影響が少ないと考えられる。このようにして得られた圧密降伏応力の深度分布について、後の章におい

て年代効果との相関で検討する。

本研究では、水平応力と鉛直応力との比を一定に保つ、いわゆる応力比一定・排水試験も実施した。本試験の目的は洪積粘土に加わる応力比が K_0 状態でない場合（たとえば盛土端部における応力状態）には、どのような圧密降伏応力が得られるかを検討しようとするものである。今回実施した応力比 ($K = \sigma'_h / \sigma'_v$) の種類は $K = 0.41, 0.68, 2.00$ の 3 種類であり、同一深度 (K. P. -83.0 m) の試料について試験している。応力比一定条件で得られた応力-ひずみ曲線の一例を示すと Fig. 7, 8 のようである。側方拘束の場合と同様に普通目盛の応力表示でも明瞭な降伏応力が求められた。応力比が異なるせん断試験から得られた降伏応力の相違については、後の章でさらに検討を加える。

乱さない試料について実施した非排水三軸試験の結果を示すと Fig. 9 のようである。図はせん断中の有効応力径路を示したものであるが、再圧密粘土について知られるようにほぼ同様な応力径路を示している。最大主応力

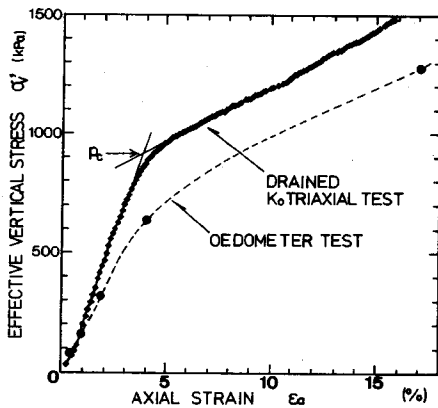


Fig. 5 Stress-strain relationship obtained from the drained K_0 triaxial test (Sample 3).

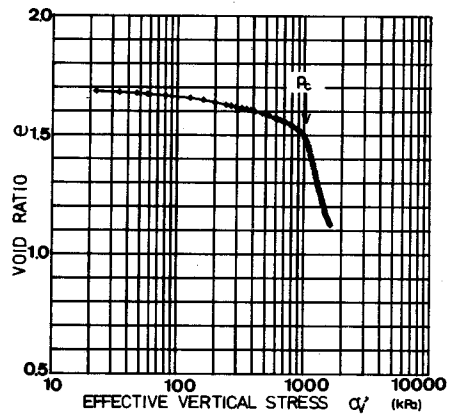


Fig. 7 Compression curve obtained from the drained triaxial test with $K = 0.68$ (Sample 5).

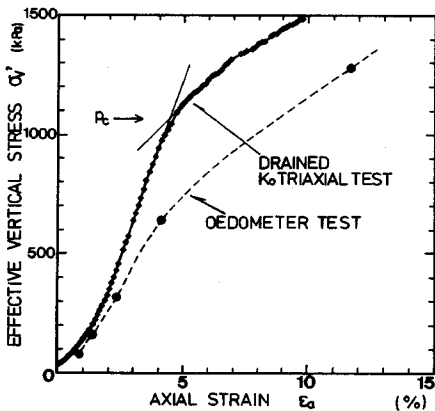


Fig. 6 Stress-strain relationship obtained from the drained K_0 triaxial test (Sample 5).

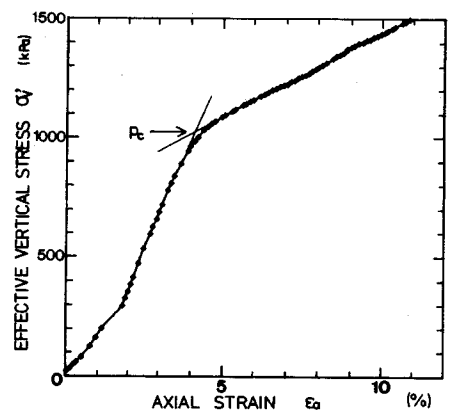


Fig. 8 Stress-strain relationship obtained from the drained triaxial test with $K = 0.68$ (Sample 5).

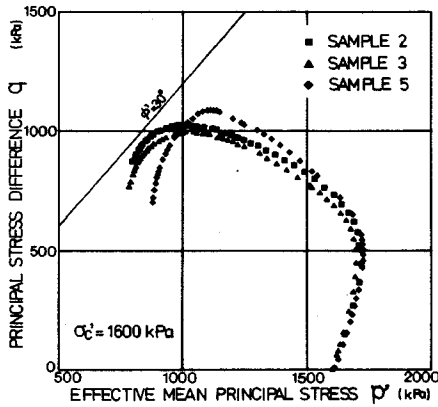


Fig. 9 Effective stress path during the undrained triaxial test (Undisturbed Ma 12 clay).

差が得られたときの破壊定数を求めると、粘着力が零であれば内部摩擦角は $24 \sim 26^\circ$ であり、強度増加率 c_u/σ'_0 は約 0.34 である。

5. 再圧密試料の圧縮および強度特性

洪積粘土のように堆積年代が比較的古い粘土の乱さない状態の圧縮および強度特性を究明するためには、それと対照的に年代効果などの影響がなく、堆積後の経過時間が少ない時点の圧縮および強度特性を検討することは有用と考えられる。そのために、本研究では同じ洪積粘土試料をスラリー状態から再圧密し、得られた粘土試料の圧縮および強度特性を検討した。ただしスラリーの再圧密によって、自然堆積状態に近い粘土を作成するために、試料の準備に次のような注意を払った。

(1) 試料の作成および実験方法

スラリーを準備する場合、乱さない粘土の骨格構造は破壊しても、粒子自体の破壊や化学的变化を与えないように努めた。そのために、乱さない試料をそのまま海水中に一昼夜放置し、膨潤して軟らかくなった試料に海水を加えてミキサーで2~3時間練り返した。スラリーの含水比は、液性限界の約1.5~2倍を選んだが、これらは従来の研究から再圧密粘土の安定した力学特性が得られると考えられている。なお、使用した洪積粘土試料はボーリング孔Bから採取されたものを用い、液性限界が約100%に近い試料を混ぜ合わせている。

スラリーの圧密は直径約15cmのモールドを使用し、荷重を段階的に加えて最大圧密応力100kPaで圧密された試料から圧密試験と三軸試験用の供試体を切り出している。再圧密された試料についても液性限界を求め、ボーリング調査時の結果と比較したが、その値はほとんど変化していなかった。圧密試験は標準圧密試験と荷重増加率をその約1/2とした試験の2種類とし、最大荷重

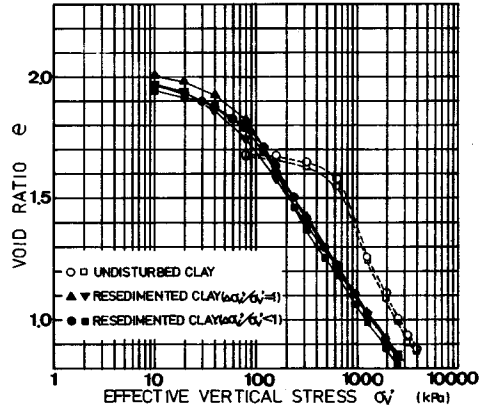


Fig. 10 Comparison of compression curves of undisturbed and resedimented Upper Pleistocene Clay (Ma 12).

は1600kPaとした。一方、非排水三軸試験は等方圧密とし、圧密応力200~800kPaの間で4個の側圧一定せん断試験を実施している。

(2) 実験結果

圧密試験の結果を示すと Fig. 10 のようである。図のように、 $e \sim \log \sigma'_v$ 曲線に及ぼす荷重増加率の影響はほとんどなく、ほぼ同一の結果が得られている。また同図には、乱さない試料の標準圧密試験結果が示されているが、これらは同じボーリング孔で採取され、液性限界が再圧密試料とほぼ同一の試料である。図から明らかなように、乱さない洪積粘土の $e \sim \log \sigma'_v$ 曲線は再圧密粘土に比べて正規圧密領域ではかなり上方に位置しており、大きい圧密応力条件でも緩い構造を維持できることを示している。また、再圧密粘土の圧縮指数は約0.62と小さいが、乱さない試料の圧縮指数は約1.1~1.2と約2倍になっており、両者は大きく異なっている。

今回調査した地域の海底地盤最上部には、厚さ約12mの沖積粘土が堆積しているが、その土性は洪積粘土と大きく異ならない。前述のように大阪湾海底地盤の一連の海成粘土層は、気候変動に伴う海水面の昇降によって堆積されたと考えられるため、堆積年代が大きく異ならなければ土砂供給源はほぼ同一と考えられる。したがって、沖積粘土とその直下に位置する Ma 12 とでは、その粘土鉱物や土性に大きな差はないと判断される。

このように洪積粘土とほぼ同様な土性をもつと考えられる沖積粘土について、乱さない試料の圧縮曲線と再圧密試料のそれとを比較したものが Fig. 11 である。図のように洪積粘土に比べて沖積粘土の場合は再圧密の結果が少しばらつくが、乱さない試料と再圧密試料との差は大きくない。これまでの研究から同地域の沖積粘土の力学特性に、若干の年代効果の影響が現われることが示されているが¹¹⁾、Fig. 10 に示した洪積粘土に比べて、年

代効果の影響は少ないと考えられる。また、Fig. 11 に破線で示したものは再圧密洪積粘土の結果である。図のように再圧密試料については、沖積粘土と洪積粘土の圧縮性はほぼ同一であり、両者の粘土組成に差異がない事実と合致する結果を示している。したがって、洪積粘土の $e \sim \log \sigma'_v$ 曲線が乱さない場合と再圧密の場合で異なる原因の1つとして、年代効果が大きく作用しているものと思われる。

再圧密試料の非排水せん断試験の結果を示したものが Fig. 12 である。図はせん断中の有効応力径路を示したものであるが、再圧密粘土について知られるようにほぼ同様な応力径路を示している。最大主応力差が得られたときの破壊定数を求めると、粘着力を零として内部摩擦角は $35 \sim 39^\circ$ であり、強度増加率 c_u/σ'_v は約 0.38 である。前に示したように、乱さない洪積粘土試料の内部摩擦角や強度増加率はそれぞれ $\phi' \approx 25^\circ$, $c_u/\sigma'_v \approx 0.34$ であり、再圧密試料の方がかなり大きな値を示す。一方、今回調査した地域の沖積粘土については、すでに正規圧密状態もしくは再圧密状態の強度定数が求められており、それらの値は $\phi' = 33 \sim 35^\circ$ であることが判明してい

る^{12),13)}。したがって、前述の圧縮特性の場合と同様に今回の調査地域では、再圧密状態では沖積粘土と洪積粘土との違いはあまりないようである。

6. 実験結果の考察および年代効果について

2. で述べたように、上部洪積粘土は軽い過圧密状態であることが知られているが、その要因が年代効果（2次圧密またはセメンテーション）によるものか海面低下に伴う応力履歴によるものか、まだ結論は得られていないようである。本章では今回調査した地域の洪積粘土の過圧密特性が上の要因のうちどちらに強く影響されているかを検討するために、

- ① 圧密降伏応力の深度分布
 - ② 乱さない試料と再圧密試料の圧縮および強度特性の違い
 - ③ 乱さない試料の降伏曲面の形状について
- の3項目について考察する。

(1) 圧密降伏応力の深度分布

Ma 12 の圧密降伏応力の深度分布について、排水三軸試験の結果と標準圧密試験の結果とを比較すると Fig. 13 が得られる。標準圧密試験によると、圧密降伏応力の深度分布は不規則であり一定の傾向を示さないが、排水圧縮試験からは圧密降伏応力がほぼ直線的に増加している傾向がわかる。なお、図中の排水試験に関する記号で○と●の2種類はそれぞれ $e \sim \log \sigma'_v$ と普通目盛の $\sigma'_v \sim e_a$ 関係から得られた降伏応力に対応する。Parry and Wroth¹⁴⁾によれば、圧密降伏応力の深度分布の形状より荷重履歴による過圧密か、年代効果による擬似過圧密かどうかを判定できるとされている。つまり、圧密降伏応力と有効土被り圧の深度分布が平行であれば、応力履歴による過圧密状態とされ、深さ方向の圧密

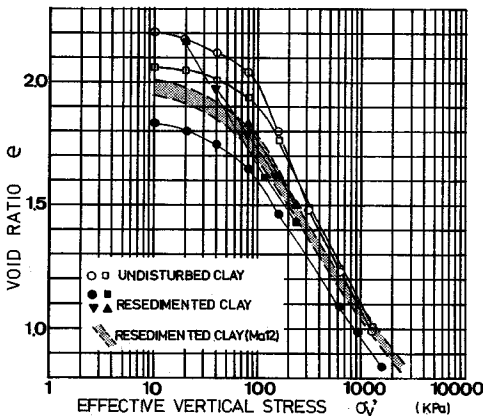


Fig. 11 Comparison of compression curves of undisturbed and reseedimented Holocene Clay (Ma 13).

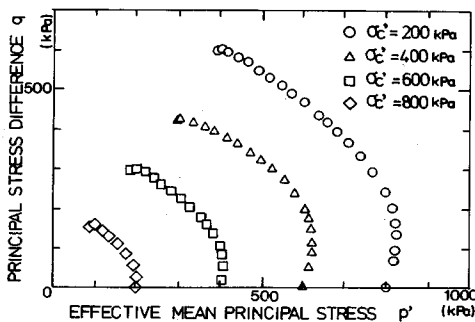


Fig. 12 Effective stress path of reseedimented Upper Pleistocene Clay (Ma 12).

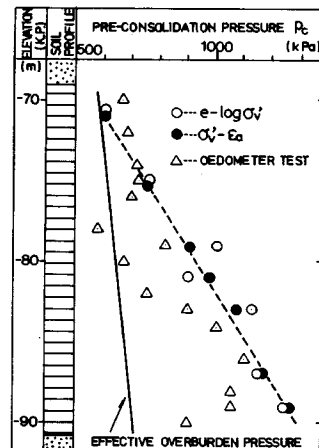


Fig. 13 Variation of pre-consolidation pressure with depth (Bore Hole B).

降伏応力の増加率が有効土被り圧のそれより大きい場合は年代効果による擬似過圧密状態であると考えられている。Fig. 13 に示された結果から、今回対象とした Ma 12 は擬似過圧密状態であると考えられる。この結論は赤井ら³⁾の結論とも一致している。

(2) 乱さない試料と再圧密試料の圧縮および強度特性

今回、上部洪積粘土の乱さない試料と再圧密試料の圧縮および強度特性を調べ、さらに沖積粘土についても同様にこれまでの研究成果などを整理し、乱さない状態と再圧密状態の力学特性を比較した。得られた結論を整理すると以下のようなものである。

- 圧縮特性に関しては Ma 12 では 2 つの状態での差は Fig. 10 にみられるように非常に大きい。沖積粘土ではその差は小さい。また再圧密状態では、洪積粘土と沖積粘土との差はほとんどない。

- 強度特性についても上記と同様な結果が得られる。Fig. 14 は洪積粘土の乱さない試料と再圧密試料の非排水せん断中の応力径路を比較したものであるが、乱さない試料の方が間隙水圧の増加が少なく、得られた内部摩擦角にも大きな差が生じた^{12), 13)}。しかし、沖積粘土では両者の差はほとんどない。また、洪積粘土の再圧密試料の内部摩擦角は沖積粘土のそれにほぼ等しい。

(3) 乱さない試料の降伏曲面について

今回実施した K_0 状態での排水三軸試験および応力比一定試験の結果と、別に行った等方圧密試験との結果のすべてを総合して得られた圧密降伏応力を $p' \sim q$ の応力空間に示したものが Fig. 15 である。なお、図中の $K = 2.0$ の条件では、試験の後半において側圧が最大水平応力の 1000 kPa に達したため、目標の応力比一定径路が得られなかったが、 $\sigma'_v - \epsilon_a$ 曲線などから降伏応力を求めることができた。一般に正規状態における K_0 圧密粘土の降伏曲面は K_0 軸に関してほぼ対称形になるといわれている。たとえば Parry and Nadarajah¹⁵⁾ はカオリン粘土について K_0 状態で過圧密になった場合、Fig. 16

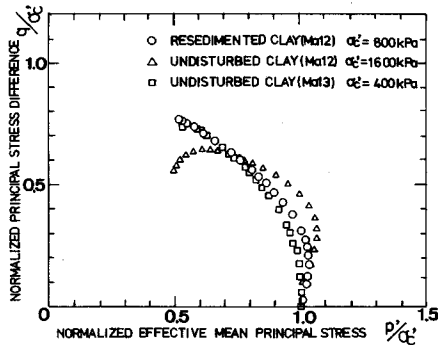


Fig. 14 Normalized effective stress path.

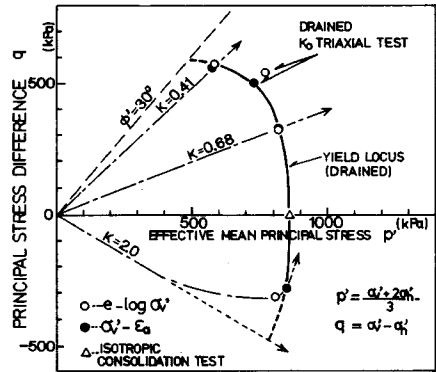


Fig. 15 Yield locus of Upper Pleistocene Clay (Ma 12).

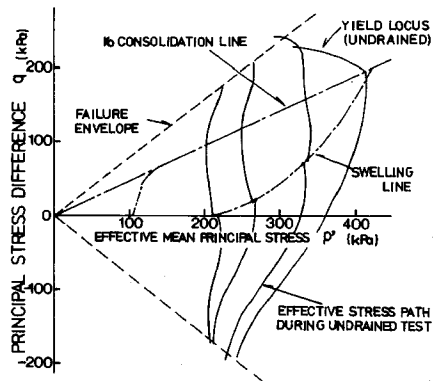


Fig. 16 Yield locus of K_0 -consolidated kaolin clay (after Parry and Nadarajah¹⁵⁾).

に示すような降伏曲面が得られると報告している。しかし、今回用いた試料では Fig. 15 に示すように降伏曲面は、やや p' 軸方向にも広がりを示している。先述のように、今回の試料は年代効果による擬似過圧密状態であると考えられ、降伏曲面の形状も擬似過圧密の影響を受けている可能性がある。

7. まとめ

本研究によって得られた結論をまとめると以下のようなものである。

(1) 大阪湾海底の Ma 12 粘土は堆積深度が深いところでは圧密降伏応力も大きく、標準圧密試験では精度よく圧密降伏応力を決定することが困難である。その場合、 K_0 状態での排水三軸試験を実施し連続的な圧縮曲線を求めることにより、精度よく圧密降伏応力などを測定できる。

(2) Ma 12 層の過圧密特性について検討した結果、以下の理由により今回調査した範囲では年代効果により擬似過圧密状態であると推定される。

- 圧密降伏応力の深さ方向の深度増加率は、有効土被

り圧より大きく、ほぼ直線的に増加している。

・洪積粘土の乱さない試料と練返し再圧密試料との圧縮および強度特性は大きく異なる。しかし、沖積粘土においては乱さない試料と再圧密試料ではあまり相違がみられない。

・乱さない試料の降伏曲面はやや p' 軸方向に広がりを示している。一方、年代効果のない過圧密粘土の降伏曲面の形状は K_0 軸に関して広がる形状を示す。したがって、降伏曲面の形状も擬似過圧密の影響を受けている可能性がある。

本研究の実施にあたっては、北橋将光（前・神戸大学大学院修士学生）・小西義広・杉枝 悟（前・神戸大学工学部学部学生）諸氏の努力によるところが大きい。ここに感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) Ikebe, N., Iwatsu, J. and Takenaka, J. : Quaternary Geology of Osaka with Special Reference to Land Subsidence, Jour. Geosci., Osaka City Univ., Vol. 13, Art. 4, pp. 39~98, 1970.
- 2) 大阪地盤編集委員会：大阪地盤（特に洪積層の研究とその応用），土質工学会，pp. 1~415, 1977.
- 3) 赤井浩一・佐野郁雄：大阪湾上部洪積層粘土の長期圧密特性，土と基礎，Vol. 29, No. 3, pp. 37~44, 1981.
- 4) 運輸省港湾技術研究所：大阪湾泉州沖海底地盤の工学的性質，港湾技研資料，No. 498, pp. 5~136, 1984.
- 5) 小野寺駿一：大阪湾泉州沖地盤の工学的性質，土木学会論文報告集，No. 370, III-5, pp. 1~25, 1986.
- 6) 谷本喜一・末広匡基・田中泰雄：六甲アイランド洪積粘土 (Ma 12) の地質および土質工学的特性，応用地質，Vol. 28, No. 2, pp. 20~27, 1987.
- 7) 古谷正和・谷本喜一・田中泰雄・中村俊夫：神戸市沿岸部海底下の中・上部更新統，第四紀研究，1987（投稿中）.
- 8) 中世古幸次郎：実施されてきた主要な技術調査，2-b 地質調査，土木学会誌，Vol. 69, No. 3, pp. 30~33, 1984.
- 9) 岡二三夫：三軸試験におけるゴム膜の透水・透気性，土と基礎，Vol. 31, No. 7, pp. 67~68, 1983.
- 10) 中瀬明男・小林正樹・兼近明男：過圧密粘土の圧密特性，港湾技術研究所報告，Vol. 12, No. 1, pp. 123~139, 1973.
- 11) 谷本喜一・田中泰雄・山田和彦・岡井崇彦：阪神地区海底地盤の土質工学的性質について，建設工学研究所報告，No. 25, pp. 101~115, 1983.
- 12) 谷本喜一・田中泰雄・西 勝：東神戸地区海底地盤の工学的性質について，海洋土質調査に関するシンポジウム，土質工学会，pp. 319~326, 1982.
- 13) Tanimoto, K., Tanaka, Y. and Nishi, M. : An Investigation of Marine Clay in Kobe Area, Proc. of 7 th Southeast Asian Geotechnical Conference, Vol. 1, pp. 865~878, 1982.
- 14) Parry, R. H. G. and Wroth, C. P. : Shear Stress-Strain Properties of Soft Clay, Soft Clay Engineering, Elsevier Sci. Pub., pp. 311~366, 1981.
- 15) Parry, R. H. G. and Nadarajah, V. : Observations on Laboratory Prepared Lightly Overconsolidated Specimens of Kaolin, Geo-technique, Vol. 24, No. 3, pp. 345~358, 1973.

(1987. 5. 6・受付)