

日本近海における海底沖積粘土地盤の工学的特性

ENGINEERING PROPERTIES OF ALLUVIAL MARINE
CLAY DEPOSITS IN JAPAN

中瀬 明 男*・亀井 健 史**

By Akio NAKASE and Takeshi KAMEI

1. ま え が き

海底の静かな環境で堆積した粘土層は、その組成が均質なことが特長の一つとされている。大水深下にある粘土地盤は常に水面下で堆積したものであるため、土かぶり圧のみによって圧密されたものと考えられ、大河川の河口部のデルタ堆積を除けば、一般に正規圧密状態にあるものと考えられてきた。すなわち、地盤中の土の状態は、圧密試験で得られる圧縮曲線から予測されるものと等しいと一般に考えられていた。

しかし、ガダループ島沖で行われたモホール計画の土質調査結果によれば、非排水せん断強度は深さとともに増大しているものの、深さに伴う間隙比の減少割合がきわめて小さいことが注目された¹⁾。さらに、深海底の粘土層の場合には間隙比が深さとともに減少するとは限らないことも報告され、堆積後の時間効果や海水環境中での粘土粒子間のボンドの発達などがその原因とされるに至っている²⁾。

これらの事実から、大陸棚の粘土地盤は、荷重履歴からみて正規圧密状態であると思われるにもかかわらず、過圧密的な状態を示すことから、一般に大陸棚の粘土地盤は見掛けの過圧密または疑似過圧密の状態にあるといわれている^{3),4)}。

わが国の水際線付近の海底粘土地盤についても、地盤中の間隙比の値が原位置の力学特性と直接に関連するものでなく、圧密試験の結果は圧密工法などで生ずる状態の変化のみに対応するという指摘があり⁵⁾、大阪湾や瀬戸内海の海底粘土地盤における間隙比の深度分布が、圧密試験による圧縮曲線で推定されるものと異なるという報告もある⁶⁾⁻⁸⁾。

海底地盤のように飽和した粘土地盤の状態、すなわち有効応力・間隙比(含水比)・せん断強度の関係は、その粘土地盤の圧密状態によって定まるとは一般に知られている。この圧密状態とは、正規圧密、過圧密および未圧密の3種類である。このうち、正規圧密と過圧密の2つの場合には、現在の有効土かぶり圧が長時間作用したことによる二次圧密の効果、また海底粘土の場合には海水環境に由来するセメンテーションつまり粘土粒子間のボンドの発達などが考えられ、この2つの要因のある場合には単純な載荷と除荷による圧密状態とは異なることが知られている。

二次圧密とセメンテーションの効果は、いずれもかなり長時間を経過して現われるものであるため、この2つの効果をまとめて時間効果といい、単純な載荷と除荷で時間効果を伴わない場合と区別するようになっている。すなわち、時間効果のあるもの(aged)とないもの(young)、正規圧密(normally consolidated: N.C.)と過圧密(over consolidated: O.C.)のおのおのを組み合わせて、N.C. aged, N.C. young, O.C. aged, O.C. youngの4つに区分するのである^{9),10)}。

しかし、この区分は粘土の非排水せん断特性の解明に関連してなされたものであり、自然地盤の状態についてはせん断強度の深度分布が興味を中心となっている。

海底の堆積物ということから注目される要因として、氷期と間氷期における海水準の変動がある。この問題は土質工学と海洋地質学の両者にまたがるものであるが、海水準変動による粘土の浸水と干陸の影響を調べた土質工学的研究でも、その主たる興味は非排水せん断強度の深度分布に集中している^{11),12)}。

本報告は、わが国の海底粘土地盤の状態、すなわち有効応力、間隙比(含水比)、非排水せん断強度の関係についていくつかの実例を示し、既往の研究で十分に説明し得ない点を指摘して今後の問題究明に資することを目

* 正会員 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科

** 学生会員 工修 東京工業大学大学院生

的とするものである。

2. 時間効果のない正規圧密と過圧密地盤のモデル

最も単純な場合として、時間効果を伴わない粘土地盤で予想される状態を調べてみよう。この場合には、間隙比の深度分布は圧縮曲線と単位体積重量から求められ、非排水せん断強度の深度分布は圧密による強度増加率ならびに膨張による強度減少特性から求められる。

このようなモデル地盤の状態を求めるため、図-1の圧縮曲線を仮定する。pは土中の有効鉛直応力で、間隙比の代わりに含水比wを用いる。図-1の直線の傾度が圧縮指数C_cに相当するものであるが、膨張指数は圧縮指数の1/10と仮定する。粘土の単位体積重量は、均質な粘土の場合には深度とともに多少増大するのであるが、ここでは簡単のために、14.7 kN/m³の一定値を仮定する。

圧密による非排水せん断強度c_uの増加率はc_u/p=0.4と仮定する。膨張によるc_uの減少割合は過圧密比OCRによって規定できるが¹³⁾、これを図-2のように仮定する。c_{un}は過圧密比nに対応する値で、c_{un}/c_{u1}は膨張前後のc_uの比である。

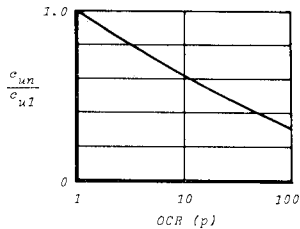


図-1 圧縮曲線

以上の計算の結果を示したものが図-3である。(a)図は含水比の深度分布であるが、圧密途中の②の場合を除けば、含水比は深さとともに減少することになる。

(b)図は膨張後の有効土かぶり圧に関する過圧密比の深度分布である。(c)図はc_uの深度分布であり、(d)図はc_uと有効土かぶり圧の比c_u/pの深度分布であるが、圧密途中の②の深度分布は未圧密地盤の特長を表わすものである¹⁴⁾。

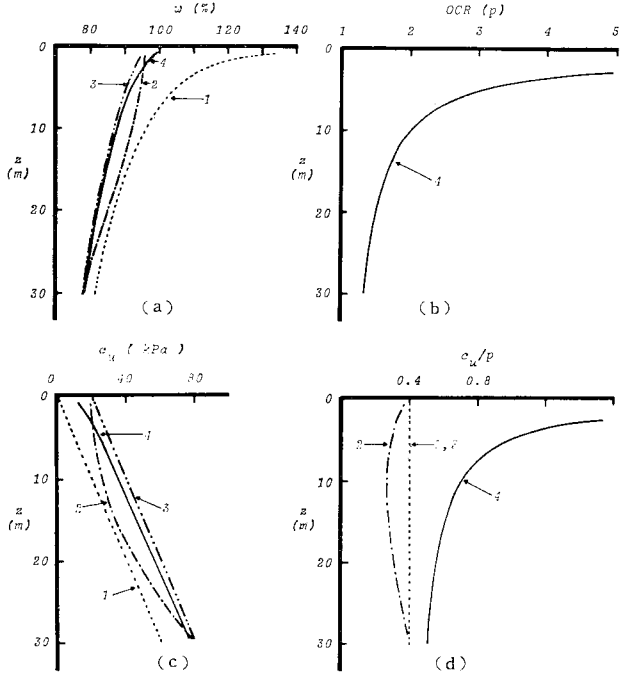


図-3 時間効果のない地盤の状態モデル

3. 大阪湾の実例

図-4(a)~(g)は大阪湾の海底粘土の実例を示したものである¹⁵⁾。ここに示した地盤の表面標高は-18mである。(a)図に示すように、この粘土の塑性指数I_pの値は深度とともに多少の変化があるが、20mの深度まではほぼ類似した性質の粘土とみてよいであろう。(b)図は液性指数I_Lの深度分布であり、表層と深部でかけ離れた値となっているが、深度5m~20mでは0.9~1.0の範囲にあり、この範囲はほぼ正規圧密状態であることを予想させる。(c)図は、圧密試験で求めた圧密降伏応力p_cと有効土かぶり圧pを比較したものであるが、深度20mまでに限れば、やや過圧密の状態にあるといえよう。

(d)図に示した一軸圧縮強度q_uの深度分布と有効土かぶり圧から計算したc_u/p値が(e)図である。このc_u/p値の深度分布は、図-3(d)を参照して、やや過圧密状態のような傾向を示しているが、これは図-4(c)に対応している。(f)図は含水比の深度分布であるが、これを間隙比eの形で有効土かぶり圧pに対してプロ

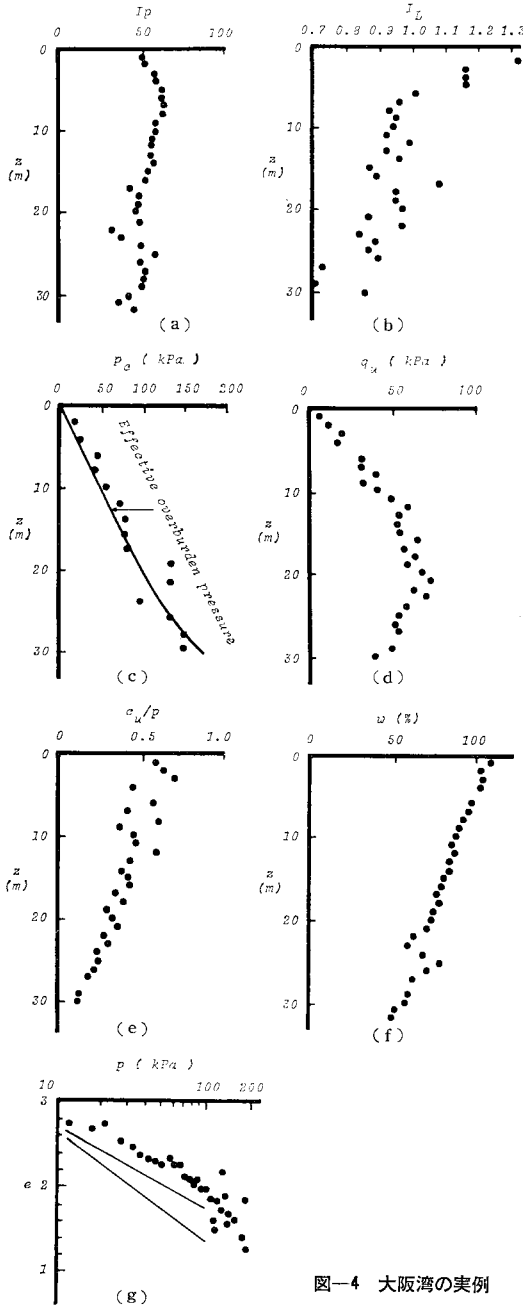


図-4 大阪湾の実例

ットしたものが (g) 図である。(g) 図中の2本の直線は、圧密試験で求めた圧縮指数 C_c 値の範囲を示したものであり、地盤中の p と e の関係は圧縮曲線の正規圧密部分によく対応していることがわかる。

以上のことから、この地盤は表層部で多少の過圧密状態にあるが、前に示した時間効果のない正規圧密モデル地盤と本質的に異なる特性は示していないといえる。

4. 東京湾の実例 (A)

図-5 は東京湾の実例を示したものである¹⁵⁾。この海底粘土地盤の表面標高は -9.3m である。(a) 図の I_p の深度分布からみると、40m の全層にわたってほぼ類似した種類の粘土のようである。(b) 図の I_L はかなりのばらつきを示しているが、その値はおおむね $0.7 \sim 0.9$ の範囲にあり明らかに過圧密状態の特長を示している。(c) 図は p_0 と p を比較したものであり、 p_0/p の値で示した過圧密比 OCR の深度分布が (d) 図であるが、これからも過圧密状態にあることが明瞭に示されている。

(e) 図の q_u はかなりのばらつきを示しているが、これらの値と p 値から求めた c_u/p 値の深度分布が (f) 図である。この c_u/p 値の深度分布は、前に示した過圧密地盤のモデルとよく似ている。

(g) 図の w の深度分布をみると、全体的には深度とともに w が減少しているようであるが、30m の深度までは一定値であるとみることもできる。この w と p の関係が (h) 図であり、同図中の直線は圧密試験で求めた圧縮指数の値の範囲を示すものである。この図からみると、表面から 30m くらいまでの部分が過圧密状態にあり、それ以降が正規圧密状態にあるということができ、これは (d) 図と見事に一致しているようである。

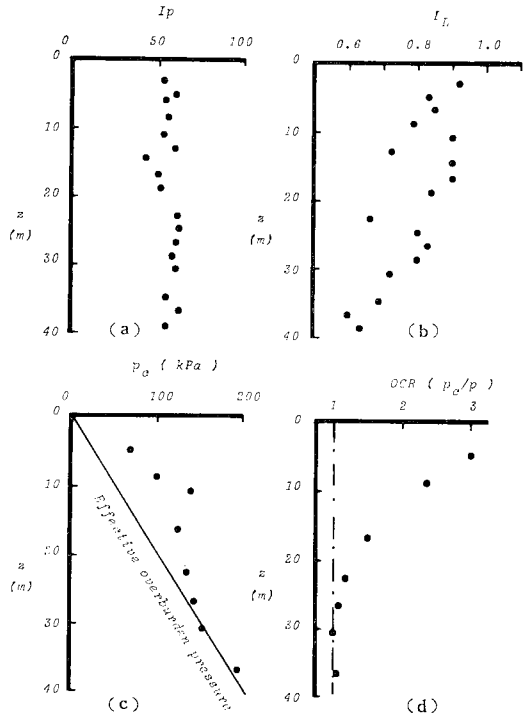


図-5

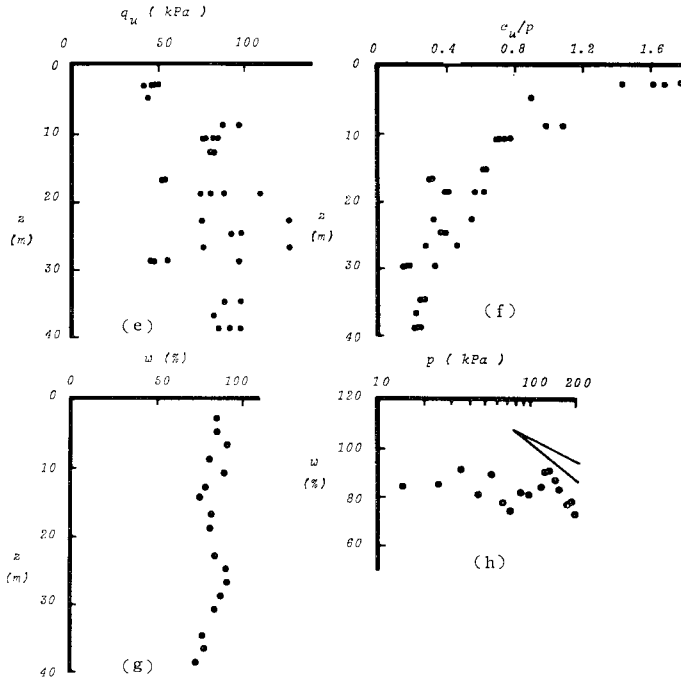


図-5 東京湾の実例 (A)

5. 東京湾の実例 (B)

図-6 は東京湾内の水深 5.5m の海底粘土地盤の実例

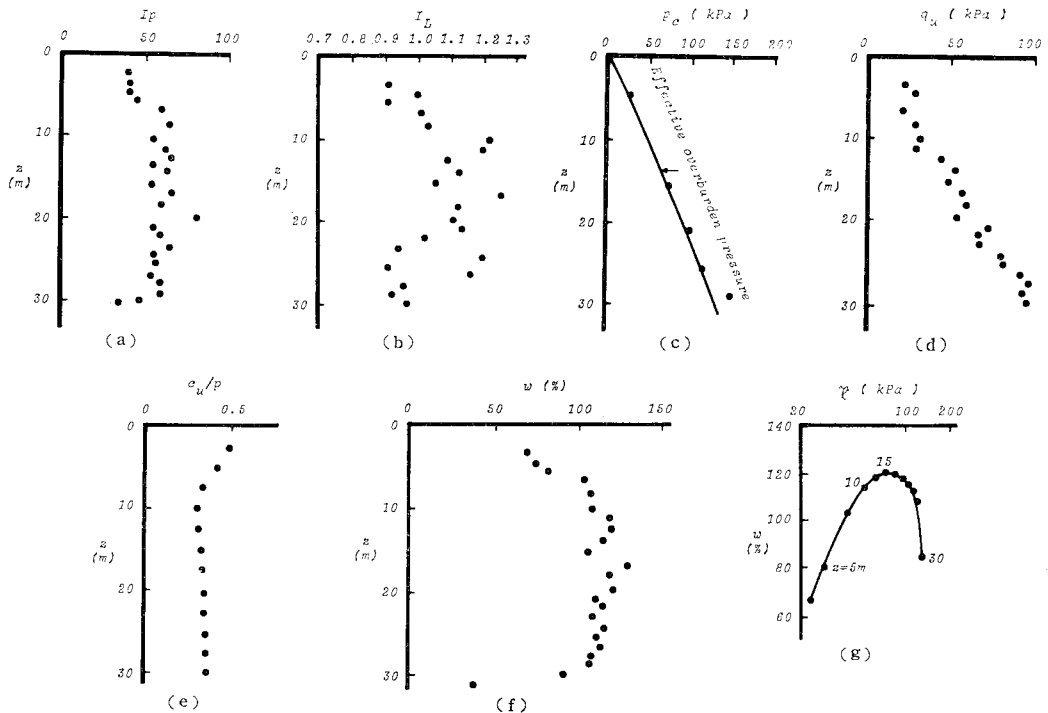


図-6 東京湾の実例 (B)

である¹⁵⁾。(a) 図からわかるように、表層 6 ~7m は $I_p=40$ であるが、-7m~-28m の間は $I_p=60$ でほぼ一定である。この -7m~-22m の部分の粘土の I_L は、(b) 図でみられるようにながりのばらつきはあるが、 $I_L>1.0$ の値が多いことから過圧密状態ではないといえよう。(c) 図に示す p_e と p の比較によれば、データ数は少ないが正規圧密状態にあるということになる。-28m 付近で明瞭に $p_e>p$ となっているデータがあるが、これは (b) 図において -22m 以深で $I_L=0.90\sim 0.95$ となっていることに対応しているともいえよう。

(d) 図の q_u は表層を除いては深さに比例的に増大しているが、この q_u と p の値から求めた c_u/p 値の深度分布が (e) 図である。(e) 図によれば、-7m 以深では c_u/p 値がほぼ一定であり、図-3 (d) のモデル地盤の場合でいえば正規圧密かやや未圧密な状態に対応している。

(f) 図は w の深度分布であるが、-20m までは w が深度とともに増大している。上に述べたように、表層 7m の区間は土の種類が異なっているが、この区間を除いて考えても -7m~-20m の間の w は

深度とともに増大している。このような w の深度分布は、図-3 (a) のモデル地盤について考えれば、きわめて大きな圧密荷重を加えた場合で圧密度のきわめて小さい時点にしか存在し得ない。しかし、この実例の場合においては、 p_c と q_u の深度分布からみて著しく未圧密の状態にあるとは考えられない。この w と p の関係を描いたものが (g) 図である。この図は、(f) 図の $w \sim z$ の関係を一つの曲線で近似させ、深さ方向に 2.5m の間隔で p と w をプロットしたものであるが、上に述べた -7m ~ -22m の区間に限ってみても、圧密試験で得られる圧縮曲線とはまったく異なる傾向を示している。

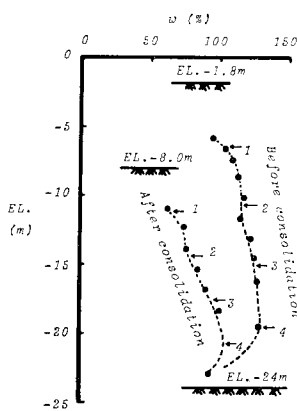


図-7 圧密前後の含水比の深度分布 (錦海湾)

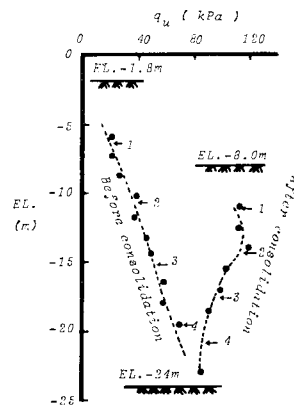


図-8 圧密前後の一軸圧縮強度の深度分布 (錦海湾)

6. 圧密による状態変化の実例

以上に述べた海底粘土の状態は、堆積後の環境によって現存するものであるが、土質工学的にみればこのような地盤状態が構造物の荷重によっていかに変化するかが問題となる。ここでは岡山県錦海湾の例を調べてみよう。錦海湾の海底は層厚約 20m の軟弱粘土地盤であり、その下は硬質シルトと砂の互層となっている。この海底粘土地盤上に干拓堤防を建設したのであるが、支持力不足のため長さ 12m のサンドドレーンによって地盤改良を行っている。工事は 1956 年 11 月に始まり 2 年間で施工を終了している。

建設に先立って行われた土質調査の結果、 q_u が深度に比例して増大していることから、この粘土地盤は正規圧密状態にあるものと判断された。堤防荷重による圧密現象の観測結果も、時間効果のない正規圧密状態という仮定に基づく予測とよく合致していた¹⁶⁾。しかし、工事以前の地盤内の含水比は、東京湾 (B) の場合と同様に、深度とともに増大するという分布を示していた。

工事前の土質調査は試料採取方法に問題があり、特に q_u の値についてはかなり乱れの影響が強いものと思われる。そこで、工事前の初期の地盤状態については、1965 年に行われた調査結果に基づいて検討する¹⁷⁾。この調査地盤は堤防荷重の影響を受けない堤内の場所で行われたが、堤内水面が -2.5m であるのに対して地盤標高は -1.8m であり、堤内排水後約 5 年間の多少の表面乾燥が考えられたため、試料採取は地表面下 4m 以深について行われた。圧密後の状態については、1967 年 3 月の土質調査結果¹⁶⁾を用いる。

圧密以前および圧密後 3 920 日における含水比の深度分布を描いたものが図-7 であり、図-8 は q_u の深度分布を比較したものである。圧密前の q_u の深度分布と有効土かぶり圧から計算した $\Delta c_u / \Delta p$ 値は 0.3 ~ 0.4 の

範囲にあり、深度とともに僅かに減少する傾向が認められた。

図-7 に示した圧密前の w を有効土かぶり圧 p に対してプロットしたものが図-9 である。この図は 3 本のボーリング調査結果をまとめて描いたものであるが、この $p \sim w$ の関係は圧密試験結果に基づく正規圧密状態とはまったく異なる傾向を示している。図-9 に描いた直線は、圧密試験より求めた圧縮曲線の正規圧密領域の p

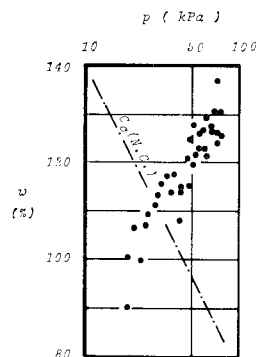


図-9 圧密前の有効土かぶり圧と含水比の関係 (錦海湾)

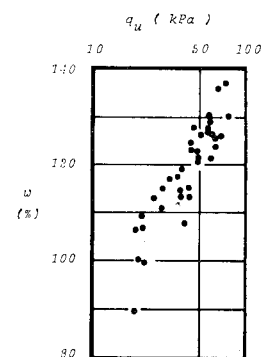


図-10 圧密前の一軸圧縮強度と含水比の関係 (錦海湾)

w 関係、つまり圧縮指数に対応するものである。図-10 は圧密以前の $q_u \sim w$ の関係を描いたものであるが、図-9 と同様の傾向がみられる。

図-9, 10 からわかるように、この粘土地盤は q_u の初期深度分布からみれば正規圧密状態と判断されるが、 w の深度分布は時間効果のない正規圧密状態では考えられないものといえよう。

次に土エレメントについて、圧密による状態変化を調べてみよう。堤防建設地点の粘土地盤表面の初期標高は -3m であるが、1967 年に調査した場所の地盤標高は -1.8m である。粘土層下端はいずれも -24m であり、

その下層のシルトの硬さからみて、-24m 以深の部分の圧縮はないとみてよいであろう。また、堤防下には初期標高で -15m までのサンドドレーンを打設してあるが、このドレーンによる圧密は3年程度の期間内で終了したと考えられるので、圧密開始後10年半を経過した1967年の地盤状態の取扱いにおいては、サンドドレーンの有無による区別は考えないこととした。

以上の考え方により、近似的なものではあるが、圧密前後の粘土層を深さ方向に5等分し、図-7, 8に示すように、各区分点標高①~④が対応する土エレメントであると仮定した。

図-11は土中のエレメント①~④のおのおのについ

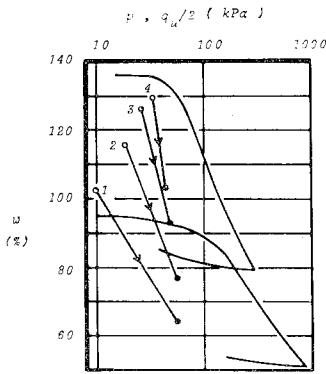


図-11 圧密前後の一軸圧縮強度と含水比の関係 (錦海湾)

での $qu \sim w$ の関係を描いたもので、圧密前を○、圧密後を●で示してある。同図中の2つの圧縮曲線は、圧密前後の採取試料について行った圧密試験から得られたものである。圧密前の $qu \sim w$ の関係は図-10に対応するものであり、その関係は圧密試験の圧縮曲線とまったく異なる傾向を示しているが、圧密による $qu \sim w$ 関係の変化状況は圧縮曲線に近い傾向にあることがわかる。

圧密による $p \sim w$ の関係の変化を調べるためには、堤防荷重による p の増分を知ることが必要である。施工期間中は堤防横断面の精密測量結果に基づいて地中応力の算定を行ったが、1967年の調査時点までの間に堤体へのグラウトや種々の補強を行っており、堤防の断面測量結果のみによって地中応力を算定することは困難であると思われた。しかし、施工期間中に限る限りでは、弾性地盤と仮定した場合の地中鉛直応力の増分と qu の増分から計算した $\Delta cu / \Delta p$ の値は、地表付近で0.4であり、深度とともに減少して0.3に近づくという結果を得ていたので、圧密による qu の増分から圧密後の p を逆算した。このようにして求めた圧密後の $p \sim w$ 関係を用いて、圧密による $p \sim w$ 関係の変化状況を示したものが図-

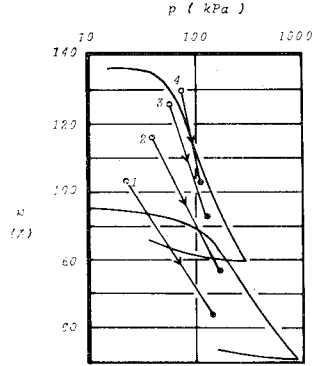


図-12 圧密による有効土かぶり圧と含水比の関係 (錦海湾)

12であるが、 $qu \sim w$ 関係の場合と同様に、圧密による変化状況は圧縮曲線の傾向に近いものとなっている。

図-11, 12の結果によれば、初期の状態が正規圧密状態と異なるような地盤においても、表面載荷によって圧密を行う場合には、その状態変化は圧縮曲線から予測したものと類似なものになるといえる。これは、圧密試験結果は自然地盤の状態には対応しないが、新たな圧密による状態変化には対応するという指摘⁵⁾に近いものである。

錦海湾の場合には、特に表面近くで過圧密状態的な傾向が強いということにはなかったが、図-11, 12によれば①エレメントから④エレメントの順に状態変化線の傾きが大きくなっている。この傾きは圧縮指数に対応するものであるが、図-11, 12に関する限りは、深い部分ほど正規圧密の特性が強く現われているということもできる。

7. あとがき

本報告で示した実例のうち、大阪湾の地盤内の状態は土質力学的に理解できる結果となっている。しかし、東京湾(B)と錦海湾の場合には、強度の深度分布からみて正規圧密状態と思われるにもかかわらず、その含水比の深度分布は圧密試験による圧縮曲線のみから説明する

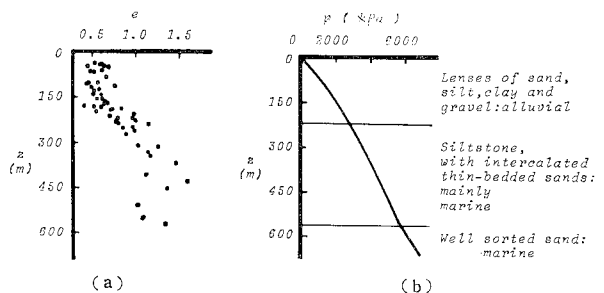


図-13 カリフォルニア海底地盤の実例 (Meade, 1963)

ことは困難である。

本報告で示した例は 30m 程度の粘土層の場合であるが、さらに大規模な調査結果を 図-13 に示す¹⁸⁾。これはカリフォルニアの海底地盤の例であり、500m 以上の深度にわたって間隙比と有効土かぶり圧の深度分布を描いたものである。海底から 200m 程度までは砂質土と粘性土の互層であり、その下は砂と砂岩となっているが、この図は平均粒径 64μ 以下の試料についての間隙比を示したものである。この図からわかることは、本報告に示したような特異とも思える間隙比の深度分布が、はるかに大きな規模でもみられるということ、これは海底粘土地盤の特長の一つであるということ認めざるを得ない。

有効土かぶり圧は間隙比を考える際の大切な要因であるが、海底環境での堆積ということから指摘される他の要因としては、粒径、塩分量、電解質濃度、pH、珪藻骨格含有量、モンモリロナイト含有量などがある。図-13 の結果に関連して、Meade¹⁹⁾ はこれらの要因について間隙比との相関を調べている。その結果、平均粒径以外の要因は深さと強い相関があり、したがってこれらは相互関係にあるものとして回帰式を求めたが、最終的な結論は保留している。

さて、土質工学の分野で扱う深度は 100m 前後までであると考えられるので、以下では土質工学の立場からみた要因を考えてみよう。まず第一に、海底環境下での堆積速さが非常に小さいということから、時間効果が考えられる。土かぶり圧による二次圧密の効果は、より古く堆積した大深度の土エレメントほど大きいため、自然地盤内の状態から描く圧縮曲線の圧縮指数は、標準圧密試験で得られる正規圧密状態の値より大きくなることは考え得る。しかし、その符号が逆となることは考えにくい。また表層部分の含水比が相対的に小さくなるという現象は波の作用による過圧密状態の出現である程度説明できよう¹⁹⁾。波の作用による繰り返しせん断を受ければ過剰間隙水圧が発生すると考えられ、これが消散する際には含水比の減少を伴うからである。しかしながら、この原因によって含水比の分布が正規圧密のモデル地盤と逆になるとすれば、非排水せん断強度の深度分布にもそれが現われるはずであるが、東京湾 (B) の例でわかるようにせん断強度の深度分布はモデル地盤と類似である。

Kenney¹¹⁾ および半沢¹²⁾ らは最新の氷期の終期における海水準の変動と地殻変動から、粘土地盤表層の干陸乾燥とそれに伴うセメンテーションの影響を指摘しているが、その指摘の説明は定性的なものに止まっている。

海水準低下と地殻変動によって海面上に露出した粘土表層部が、その後の海進によって水没したという状況を考えると、土質力学的には次のような現象が考えられ

る。まず露出時には乾燥によって含水比が減少し、同時に乾燥過程での間隙圧の減少によって土中の有効応力が増大し、したがって表層部の強度は増大する。その後水没したとすると、間隙圧が静水圧に戻るために応力に関する過圧密比は大きくなり、それに伴って強度は減少する¹⁸⁾。しかし、圧密時に比べて膨張時の含水比の変化は相対的に小さいため、強度の減少に対応する分だけの含水比の増大がない。

これは、圧密と膨張のみを考えた仮説であり、この仮説を構成する個々の現象については今後の定量的検討が必要であろう。このほかに二次圧密とセメンテーションの効果を考える必要があるが、セメンテーションについては、実験室でその効果を取り除くことはできても²⁰⁾、それをつくることは困難であろうと思われる。しかし、本報告で示した実例のうち、正規圧密状態にあると思われる大阪湾の例が水深 18m であるのに対して、異常と思われる他の実例における水深がすべて 10m 以下であるということは興味のあることである。最近わが国の海底粘土地盤の堆積環境についての研究が始まっているが²¹⁾、今後はさらに多くの地盤状態の調査結果を集積して、地質学的な研究成果と対比することが必要であろう。以上のような特異な状態の成因については今後の説明が待たれるのであるが、土質工学の立場ではやや異なった面の調査が必要であると思われる。せん断強度の深度分布については土質調査の結果をそのまま用いて安定解析を行い、その適用については多くの実例に基づいて実際的手法が確立している。しかしながら、沈下解析においては、問題が残されている。正規圧密状態にある粘土地盤の圧密沈下解析においては、含水比の大きな表層部の圧縮量が相対的に大きいということから、特に表層部分で土層を細分割して圧縮量を計算している。もしも表層部分の含水比の小さなことが圧縮量に関連するとすれば、層別沈下計などによる詳細な計測が必要であろう。

参考文献

- 1) Hamilton, E. L.: Consolidation characteristics and related properties of sediments from experimental Mohole (Guadalupe Site), *Tour. of Geophysical Research*, Vol. 69, No. 20, pp. 4257~4269, 1964.
- 2) Nacci, V. A. and M. T. Huston: Structure of deep sea clays, *Proc. Civil Engg. in the Oceans II*, A.S.C.E., pp. 599~619, 1969.
- 3) Noorany, I. and S. F. Gizienski: Engineering properties of submarine soils, A state-of-the-art review, *Proc. of ASCE*, Vol. 96, No. SM5, pp. 1735~1762, 1970.
- 4) 中瀬明男: 海洋底における土質力学の問題, 港湾技術研究所報告, Vol. 13, No.1, pp. 39~63, 1974.
- 5) 渡辺 進: 工学的な性質, 土質工学ライブラリー 1, 第 3 章, 土質工学会, pp. 81~136, 1969.

- 6) 佐々木 伸・肥川徳雄・川木 清：海底地盤における土質特性について，第31回年次学術講演会講演概要集，第3部，土木学会，pp. 130~131, 1976.
- 7) 中瀬明男：海底粘土地盤内の圧力，強度，間げき比の関係，第31回年次学術講演会講演概要集，第3部，土木学会，p. 132, 1976.
- 8) 中瀬明男・亀井健史：海底粘土の有効応力・含水比・強度の関係について，海洋土質調査に関するシンポジウム発表論文集，pp. 313~318, 1982.
- 9) Bjerrum, L.: Problems of soil mechanics and construction on soft clays and structurally unstable soils (collapsible, expansive and others) State-of-the-art report, Proc. 8th Int. Conf. SMFE, Vol. 3, pp. 111~159, 1973.
- 10) Hanzawa, H. and T. Kishida: Fundamental consideration on undrained strength characteristics of alluvial marine clays, Soils and Foundations, Vol. 21, No. 1, pp. 39~50, 1981.
- 11) Kenney, T. C.: Sea-level movements and the geologic histories of the post-glacial marine soils at Boston, Nicolet, Ottawa and Oslo, Geotechnique, Vol. 14, No. 3, pp. 203~230, 1964.
- 12) Hanzawa, H. and T. Kishida: Determination of in-situ undrained strength of soft clay deposits, Soils and Foundations, Vol. 22, No. 2, pp. 1~14, 1982.
- 13) 中瀬明男・小林正樹・勝野 克：圧密及び膨張による飽和粘土のせん断強度の変化，港湾技術研究所報告，Vol. 8, No. 4, pp. 103~143, 1969.
- 14) Morgenstern, N. R.: Submarine slumping and initiation of turbidity currents, Marine Geotechnique, A. F. Richards, Editor, Univ. of Illinois Press, pp. 189~239, 1967.
- 15) 港湾技術研究所内部資料.
- 16) 中瀬明男：軟弱地盤上の盛土，設計までの土質調査法と土質試験法，第3章，三木五三郎編，鹿島出版会，pp. 64~75, 1977.
- 17) 藤下利男・松本一明・堀江宏保：沖積粘土のボーリング及びサンプリングに関する研究，港湾技術研究所報告，Vol. 5, No. 4, pp. 1~34, 1966.
- 18) Meade, R. H.: Factors influencing the pore volume of fine-grained sediments under low-to-moderate overburden loads, Sedimentology, 2, pp. 235~242, 1963.
- 19) Henkel, D. J.: The role of waves in causing submarine landslides, Geotechnique, Vol. 20, No. 1, pp. 75~80, 1970.
- 20) Kenney, T. C., et al.: An experimental study of bonds in a natural clay, Proc. Geotechnical Conf. Oslo, Vol. 1, pp. 65~69, 1967.
- 21) 中堀和英 ほか：大阪港における沖積粘土の土性と堆積環境，第13回土質工学研究発表会講演集，pp. 21~24, 1978.

(1983.2.8・受付)