高有機質土の強度とダイレイタンシーにおよぼす圧密度の影響

対 馬 雅 己

(昭和61年10月31日受理)

Effect of Degree of Consolidation on Shear Strength and Dilatancy of Highly Organic Soil

Masaki TSUSHIMA

The purpose of this study is to investigate the influence of consolidation duration on the angle of shearing resistance and the stress-strain-dilatancy behavior of peat. The samples used in this study are peat, clay and 1:1 clay-peat mixture reconstituted in the laboratory and consolidated one-dimensionally in a preconsolidation cell. The specimens were consolidated isotropically with respect to five series of consolidation duration in the triaxial cell, and then undrained compression tests with pore water pressure mesurement were performed.
Results obtained are summarized as follows : 1) Stress-strain curves are greatly influenced by the length of consolidation duration, and the deviator stress increases with the increase in organic matter content of specimen for the same consolidation duration.
2) The value of the effective angle of shearing resistance of peat decrease with increse in consolidation duration and it converges to some constant at a certain consolidation duration. On the other hand, the angles of shearing resistance of other two samples are not affected by the length of consolidation duration.
3) Almost the same trend as in the case of the angle of shearing resistance is found for the values of coefficient of dilatancy.

1. まえがき

一般に有機質土は，粘性土と比べて圧縮性の大きい植物性繊維やその分解物質であるため，応力～ひずみ特性におよぼす時間効果がかなり顕著に生じるものと考えられる。粘性土の圧密時の時間効果について，Bjerrum[1]は，圧密時に粒子間の粘着力が大きくなるとともに密度が増大するため，より安定した土粒子の骨格構造が形成されるとしている。また三田地ら[2),3)]は，強度増加率，せん断抵抗角の値が圧密時間の差に依存しないが，応力～ひずみ曲線の初期傾度は圧密時の長いほど大きくなることを報告している。これらの研究は，いずれも粘性土についてのみ報告されたものであり，特殊土といわれる有機質土では，ほとんど見当らない。そこで本研究は，高有機質土のせん断特性への圧密度の影響を調べるとともに，これをさらに粘性土と混合土に拡長して包括的に検討しようとするものである。

表—1　試料の物理的性質

試料	比重	液性限界(%)	塑性指数	強熱減量(%)
P	1.82	430	237	57
CP	2.17	201	96	34
C	2.68	68	32	6

2. 試料及び実験方法

実騒に用いた試料は，日本統一土質分類法による黒泥（Mk）と粘土（CH）である。さらに，これらの試料のほかに，黒泥，粘土の乾燥重量をそれぞれM，Cとしたとき，乾燥重量比としてM/(C + M)が50%になるように混合した試料をも用いた。以下，

有機質土：P，混合土：CP，粘土：Cとそれぞれ呼称する。それらの物理的性質は，表—1に示す。これらの試料を液性限界以上の高含水比で十分練り返したものを，気泡が混入しないように十分注意しながら圧密容器に入れ，試験条件で規定した各側圧の50％の圧力で約24時間予圧密した。予圧密終了後，直径 35.0 mm，高さ 87.5 mm を標準とした円柱形に成形した。試験は，供試体を60, 90, 120, 150, kPa の4種類の圧力に対して，それぞれ圧密期間を1，8，15，22，30日の5段階とし，非排水三軸圧縮試験を行った。圧密の終了は有効応力で規定し，残留間隙水圧が圧密圧力の3％以下という条件とした。せん断過程における軸変位速度は，8.5×10^{-2} mm／minで行い，破壊点は有効主応力比（σ'_1/σ'_3)max の点とした。

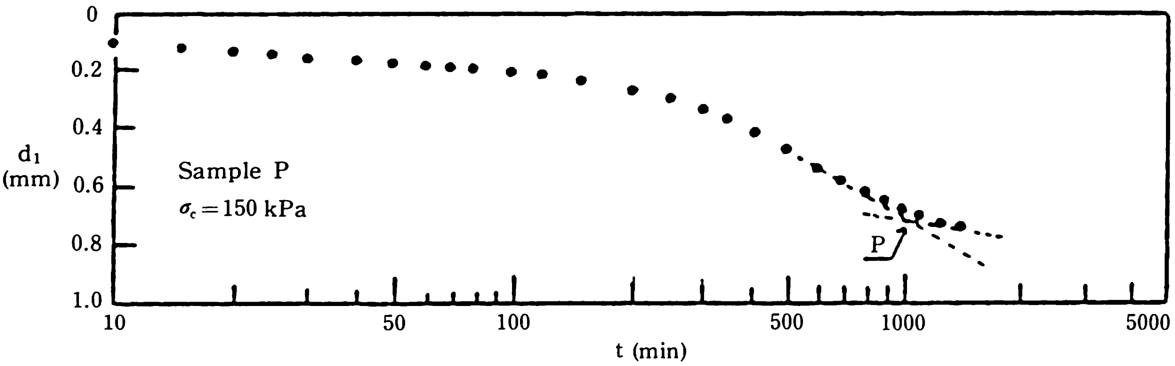
3. 実験結果および考察

図—1は，一例として有機質土について，沈下量と時間関係を示したものである。この図からわかるように，ほぼ一次圧密の終了時間は，約17時間である（P点）。本研究では，各試料P，CP，Cが一次圧密終了する時点からの圧密時間について検討するものである。

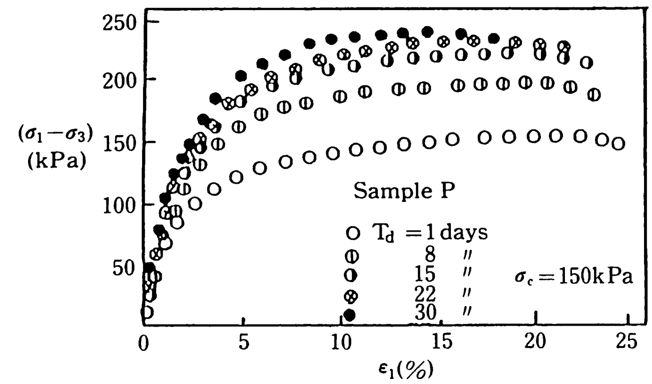
図—2～4は，試料P，CP，Cの軸差応力（$\sigma_1 - \sigma_3$）と軸ひずみε_1の関係について圧密期間をパラメータとしてプロットしたものである。各試料の（$\sigma_1 - \sigma_3$）～ε_1曲線は圧密期間が長いほど，初期傾度，すなわちより小さいひずみ領域で急激な立ち上がりを示し，破壊に達していることが分かる。しかもこのような傾向は，有機物含有量の多い試料ほど試料P，CP，Pの順に顕著であることが認められた。このことは，試料を構成している材料の違いが起因しているものと考えられる。粘性土についての試験結果は，三田地ら[2)]のそれと一致している。

図—5は，破壊時の間隙水圧u_f/P_c'と二次圧密時間Tdとの関係を示したものである。ここで，u_fは圧密終了時の有効応力P_c'で正規化している。図から試料Pのu_f/P_c'は，2週間程度の圧密期間まではかなり減少するが，それ以降はわずかである。また試料CP，Cのu_f/P_c'については，試料Pのそれと比べて異なり，やや減少する程度である。このように，破壊時の間隙水圧は，試料の種類によって二次圧密の影響を強く受けることが認められた。

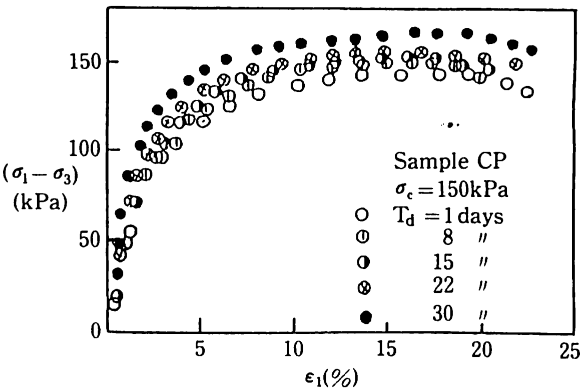
図—6は，せん断抵抗角ϕ'(有効応力表示）と二次圧密時間Tdとの関係を示したもので，試料Pの



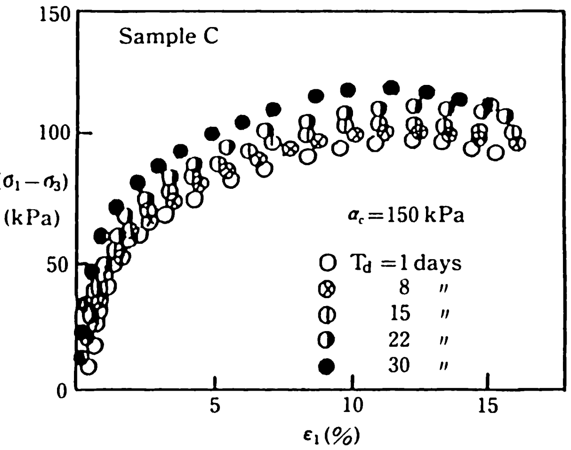
図—1　d₁とtの関係



図—2　（$\sigma_1 - \sigma_3$）とε_1の関係



図—3　（$\sigma_1 - \sigma_3$）とε_1の関係

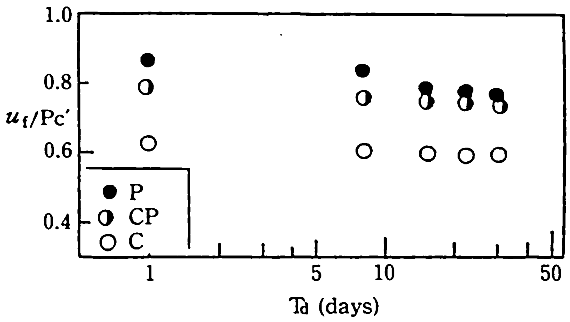


図—4 $(\sigma_1-\sigma_3)$ と ε_1 の関係

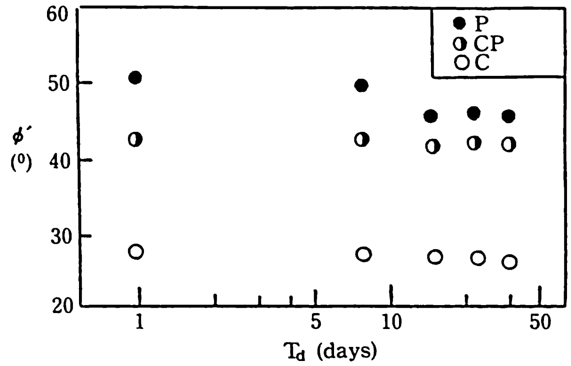
ϕ' は，T_d が2週間程度まではかなり変化し，それ以降はほぼ一定であることが認められる。これに対して他の試料，すなわち試料CP，Cの ϕ' については試料Pのその挙動とは異なり，T_d による影響をほとんど受けないようである。したがって，等方圧密非排水せん断試験から強度定数を求める場合，粘性土については，圧密時間が一日で充分であるが，特殊土といわれる有機質土では，粘性土と同じ圧密時間を適用するのが妥当ではないと言えそうである。この粘性土に対する試験結果は，Bjerrumら[1]，三田地ら[2]の研究報告と一致している。

次に，ダイレイタンシー挙動におよぼす二次圧密の影響について検討してみる。応力状態が変化した場合の土要素の体積ひずみが，次式で表わされるとする。$\varepsilon_v=\varepsilon_c+\varepsilon_d$ …(1) ここに，ε_v：応力変化にともなう全体積ひずみ，ε_c：平均有効主応力成分の変化による体積ひずみ，ε_d：偏差応力成の変化による体積ひずみ，いわゆるダイレイタンシー。また ε_c は次式で表されると考える。$\varepsilon_c=3C_m\cdot\triangle\sigma'_m$…(2) 式(2)の応力を平均主応力の増分 $\triangle\sigma_m$ と発生間隙水圧 $\triangle u$ によって示せば，式(1)は次式のようになる。

$\varepsilon_v=3C_m(\triangle\sigma_m-\triangle u)+\varepsilon_d$…(3) したがって，偏差応力による体積ひずみ ε は，非排水条件では $\varepsilon_v=0$ より式(3)からダイレイタンシー相当量として，$\varepsilon_{du}=3C_m(\triangle u-\triangle\sigma_m)$…(4) となる。ここに，$3C_m$ は等方応力成分による体積圧縮率である[4]。以上のことから，非排水条件下で土要素に応力変化を与えた場合のダイレイタンシー相当量を軸対称三軸圧縮試験に基づいて式(4)によって求めることができ，これを τ/σ' に対応して表示することが可能である。ここで τ は，考慮の対象としている体積ひずみの原因となっている偏差応力であって，



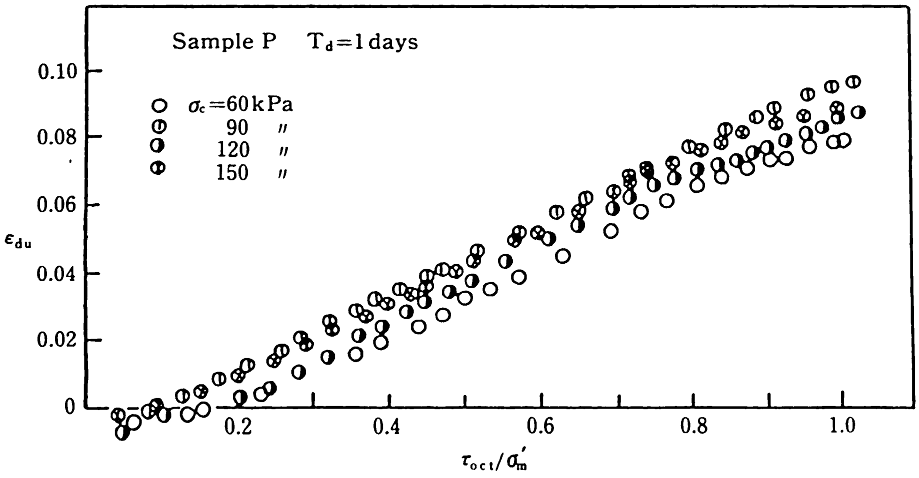
図—5 u_f/P'_c と T_d の関係



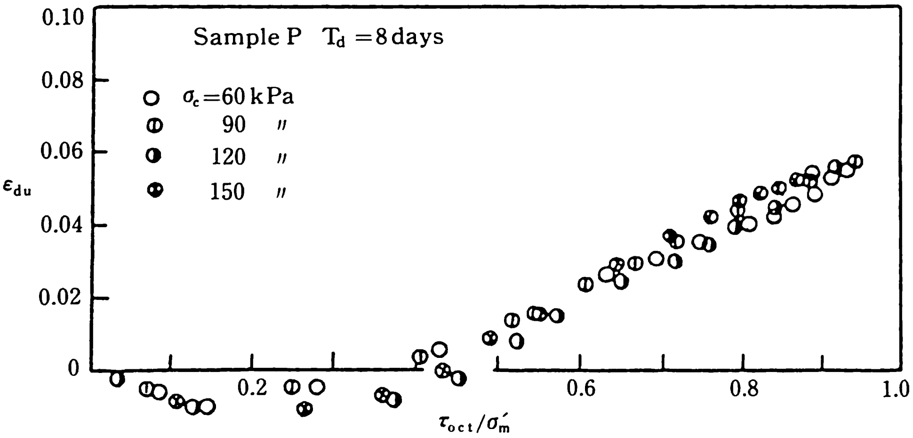
図—6 ϕ' と T_d の関係

ダイレイタンシーの原因となる成分と考えているものである。これは，軸差応力 $(\sigma_1-\sigma_3)$，正八面体面上のせん断応力 τ_{oct} などで示すことができ，σ は平均有効主応力 σ'_m で考えることができる。ここでは，正八面体面上のせん断応力 τ_{oct} と平均有効主応力 σ'_m との比 τ_{oct}/σ'_m をとりあげ，ダイレイタンシーとの関係について検討するものである。

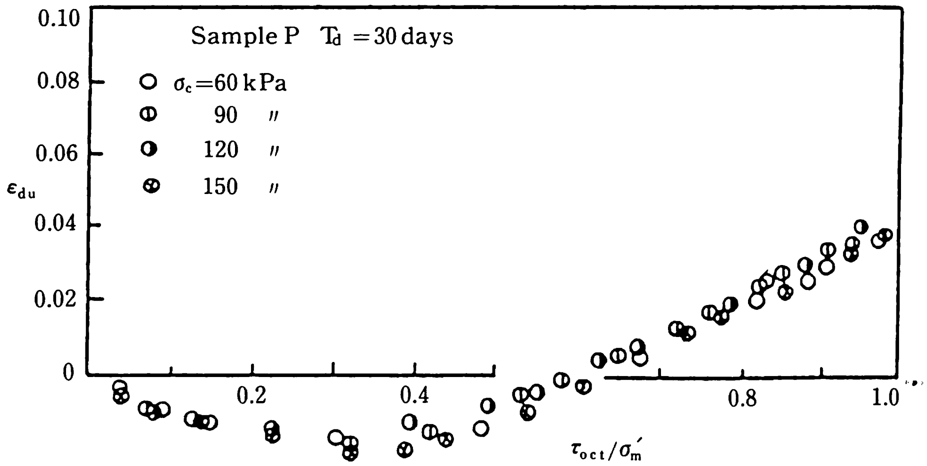
図—7〜9は一例として試料Pについて，ダイレイタンシー相当量 ε_{du} と正八面体面上における応力比 τ_{oct}/σ'_m との関係を，圧密時間ごとに示したものである。図から分かるように，ε_{du} はいずれも応力比の増加にともなってほぼ線形的に収縮（正）する傾向を示す。また，圧密時間をパラメータとして ε_{du} の発生量を比較すると，圧密時間が長いほど小さい値を示している。図—7〜9の ε_{du} の挙動について，さらに詳しく検討してみると，ε_{du} は，いずれも応力比が比較的小さい領域では膨張（負）する傾向を示し，応力比がある程度の値を越えると初めて ε_{du} は，その増分に対応してほぼ直線的に収縮（正）することが分かる。しかもこのような傾向は，圧密時間が長いほど顕著である。また，ε_{du} が起こらない，すなわち収縮（正）が生じない τ_{oct}/σ'_m の限界値は，圧密時間によって大きく変化することが分かる。これに対して，図には示していないが，(4)式から得られる試料CP，Cのダイレイタンシー



図—7　ε_{du} と τ_{oct} / σ'_m の関係

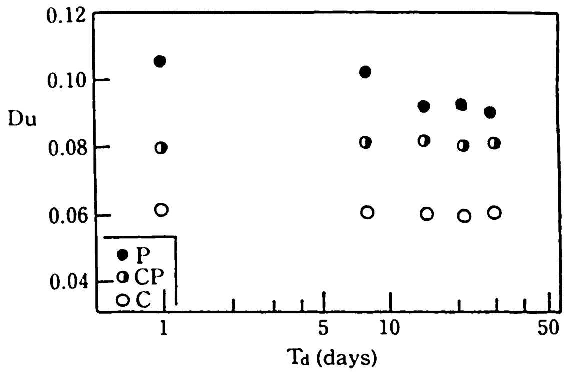


図—8　ε_{du} と τ_{oct} / σ'_m の関係

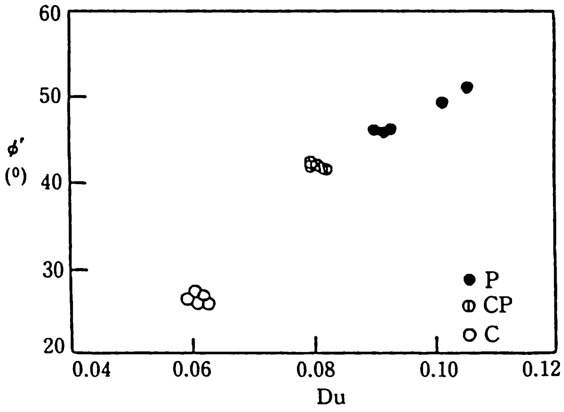


図—9　ε_{du} と τ_{oct} / σ'_m の関係

相当量 ε_{du} と正八面体面上の応力比 ζ_{oct} / σ'_m との関係について，圧密時間をパラメータとして検討した結果，それぞれ ε_{du} は τ_{oct} / σ'_m の増加にともなってほぼ線形的に収縮することが認められるが，上記の試料Pほど圧密時間の影響を受けないようである。このように，ε_u の性状は試料の種類によって圧密度の効果がかなり異なるものであることが示された。さて，上記のことを具体的に把握するため，



図—10　D_u と T_d の関係



図—11　ϕ' と D_u の関係

各試料のダイレイタンシー係数 D_u と二次圧密時間 T_d との関係を示したのが，図—10である。ここでダイレイタンシー係数 D_u は，ε_{du} と τ_{oct}/σ'_m との間に線形関係が成り立つことから，次式を適用することによって得られたものである。

$$\varepsilon_{du} = D_u\left(\frac{\tau_{oct} - \tau_o}{\sigma'_m}\right) \cdots\cdots (5)$$

ここに τ_o は，せん断応力 τ_{oct} がこの応力以下では収縮が生じないという限界値である。図から分かるように，試料Pのダイレイタンシー係数 D_u は，前述したせん断抵抗角と同様，圧密時間が２週間程度までは二次圧密による影響を受けるが，それ以降はほぼ変化しないようである。また，試料CP, Cの D_u についてはそれによる影響を受けず，ほぼ一定となることが認められる。このことから，ダイレイタンシー性状は，有機物含有量の多い試料ほど二次圧密時間によって，土粒子の骨格構造の変化効果を受けやすいことが示唆された。

土の圧密効果によるせん断機構を解明する一つの手がかりとして，図—６のせん断抵抗角と図—10のダイレイタンシー係数の値を直接対比して示したのが，図—11である。図から各試料 ϕ' は，いずれも D_u と密接に関係し，D_u の増大にともなって大きくなることが認められる。このように，二次圧密時間の長短による各試料の強度定数は，せん断過程中のダイレイタンシー特性と深くかかわりあっていることが結論される。

4. まとめ

有機質土，粘土および混合土の各試料に関して，圧密時間をパラメータとして非排水せん断試験を実施し，強度とダイレイタンシー特性について検討した。得られた結果を要約するとつぎのようになる。

1）各試料の応力～ひずみ曲線の初期傾度は，圧密時間の長いほど大きく，かつ有機物含有量の多い試料ほど顕著であることが認められた。

2）有機質土のせん断抵抗角は，圧密時間が２週間程度まではかなり変化し，それ以降はほぼ一定である。また粘土，混合土については，圧密時間による影響をほとんど受けない。

3）有機質土のダイレイタンシーと応力比の間には，ダイレイタンシーが起こらない，すなわち収縮(正)が生じない応力比の限界値が存在し，かつこの値は圧密時間によって大きく変化することが分かった。

4）圧密時間の長短による各試料のせん断抵抗角は，それによるせん断過程中のダイレイタンシー特性と密接に対応していることが確認された。

参考文献

1）Bjerrum and Lo (1963) : "Effect of aging on the shear strength properties of a normally consolidated clay,"Geotechnique, vol.13, No.2, PP.147～157.

2）北郷・三田地(1972)：粘性土の強度特性におよぼす圧密時間の影響，「第７回土質工学会研究発表会概要」，PP.197～200.

3）三田地・北郷・唐牛(1973)：粘性土の強度特性におよぼす圧密時間の影響(第３報)，「第８回土質工学会研究発表会概要」，PP.299～302.

4）対馬・及川(1982)：泥炭性有機質土の強度とダイレイタンシーについて，「土質工学会論文報告集」，vol.22, No.2, PP.133～141.