

過圧密泥炭のせん断特性に関する実験的研究

対馬雅己

Experimental Studies on Shear Characteristics of Overconsolidated Peat

Masaki TSUSHIMA

(昭和59年10月31日受理)

In this paper, the influence of stress system on shear characteristics are investigated experimentally.

Results of analysis are summarized as follows ;

- 1) Shearing resistances in overconsolidated drained compression were not affected by the overconsolidation ratio.
- 2) Dilatancy coefficients of obtained from overconsolidated drained compression were found to be almost equal values.
- 3) Shearing resistances in overconsolidated drained compression were greatly influenced by the dilatancy coefficients on overconsolidation ratio.

1. ま え が き

泥炭性有機質土から成る地盤は、一般に知られているように、土質工学上軟弱地盤の最も典型的な事例であって、構造物等の基礎地盤としてはきわめて不安定なものである。したがって、構造物等の荷重強度がある程度大きくなると、基礎地盤としての泥炭層は、その直接の支持力を失い、せん断による変形が生じ、さらに破壊に到る場合もある。

さて、土の強度とともに定量的に把握しにくい原因による強度減少を考えなければならない。たとえば、地盤改良のために用いたプレロード盛土の除荷や掘削工事による地盤の応力開放などによって、せん断強度が時間の経過とともに減少する問題などがある。このような問題を解明するための研究は、粘土では、かなり行なわれているが、特殊土といわれる泥炭性有機質土のそれについては、未だ見当らない。

そこで本研究は、正規圧密土の研究成果⁴⁾⁵⁾を基礎として、泥炭性有機質土、粘土およびその混合土について、過圧密排水条件下におけるせん断特性を検討するものである。

2. 試料および実験方法

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 量値(%)	圧縮 指数
P	1.82	430	237	56	1.79
CP	2.17	201	96	34	1.32
C	2.68	68	32	6	0.30

実験に用いた試料は、秋田県雄物川流域から採取したもので、日本統一土質分類法による黒泥(Mk)と粘土(CH)である。更に、これらの試料のほか、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、泥炭性有機質土：試料P、粘土：試料C、混合土：試料CPと呼称する)。それらの物性は、表1に示すとおりである。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、所定の圧力で約24時間予圧密した。供試体は予圧密終了後、直径35.0mm、高さ87.5mmの円柱形に成形し、圧密を促進するためにドレーンペーパーを供試体側面に巻いた。また供試体上下端面における摩擦を軽減するために、シリコングリースを塗ったドーナツ型のメンブレンを用いた。すべての供試体について、100kPaのバックプレッシャーを圧密過程から適用した。

試験は、等方圧密膨張排水試験である。60, 120, 180, 240 の 4 種類の圧力で等方圧密した後、各圧力について、それぞれ 3, 9, 15, 21 の過圧密比で等方的に吸水膨張させ、排水三軸圧縮試験を行う。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% 以下という条件で圧密の終了とした。等方膨張過程では、圧力を一挙に所定圧まで下げて行い、吸水膨張による体積変化量は、供試体の上端部から吸水された量をビューレット（最大容量 10cm³、最小目盛 0.05cm³）によって測定した。また、この吸水膨張における時間は、24 時間とした。軸方向変位は、ダイヤルゲージ、軸圧はブルーピングリングで測定した。せん断過程における軸変位速度は 8.5 × 10⁻⁴ mm/min（ひずみ速度で約 0.001%/min）で行い、体積変化量は、供試体上端部から排水された量をビューレット（最大容量 50cm³、最小目盛 0.1cm³）によって求めた。

3. 実験結果および考察

図 1 は、等方圧密膨張によって過圧密状態にある試料 P についての排水せん断破壊時の $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$ と $(\sigma'_1 + \sigma'_3) / 2$ の関係を示したものである。図中には、既報⁴⁾の正規圧密状態 (OCR = 1) における試験結果も併示している。正規圧密状態の泥炭性有機質土が、モール・クーロンの破壊規準に従うことは他の研究者^{1)~3)} および著者の研究報告⁴⁾⁵⁾ によってすでに明らかであるが、図 1 から過圧密試料についてもモール・クーロンの破壊規準が成立し、多少ばらつきはあるものの、原点を通る一本の直線で表すことができる。また図には示していないが、他の試料すなわち試料 CP および試料 C についても、図 1 のそれとほぼ同様な傾向を示すことが認められた。

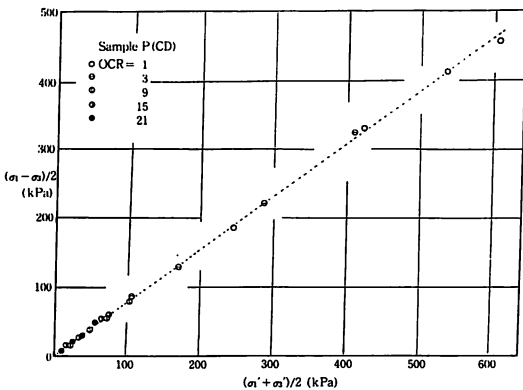


図 1 $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$ と $(\sigma'_1 + \sigma'_3) / 2$ の関係

以上のことをふまえ、各試料の ϕ_d について過圧密比をパラメータとして、詳しく整理すれば、図 2 となる。同図には、各試料について正規圧密状態の排水せん断試験から得られたせん断抵抗角についても併示している⁴⁾。図からわかるように、各試料の排水条件下におけるせん断抵抗角 ϕ_d は、ともに圧密膨張過程における過圧密比の影響を受けず、ほぼ一定となり、正規圧密土のそれと同じ値を示す、各試料の有機物含有量（代替指標としての強熱減量値 Li）をパラメータとして、過圧密比ごとに検討すればわかるように、せん断抵抗角は有機物含有量による影響を受けて増大する傾向を示す。

さて、過圧密状態におけるせん断抵抗角に関する研究は、せん断時の排水条件が異なるが、泥炭性有機質土については、森ら⁶⁾、粘土については、中瀬ら⁷⁾、Henkel⁸⁾ などによって報告されており、今回用いた試料 P、試料 CP および試料 C の過圧密状態によるせん断抵抗角の挙動とほぼ同様な傾向を示す。

偏差応力による体積ひずみ ϵ_{du} は、非排水条件では全応力 ($\Delta\sigma_m$) と発生間隙水圧 (Δu) より、ダイレイタンシー相当量 ϵ_{du} として⁴⁾、

$$\epsilon_{du} = 3c_s(\Delta u - \Delta\sigma_m) \dots\dots\dots(1)$$

排水条件では、ダイレイタンシー量 ϵ_{dd} として⁴⁾

$$\epsilon_{dd} = \epsilon_v - 3c_m \Delta\sigma_m \dots\dots\dots(2)$$

となる。ここで、 ϵ_v は応力変化にともなう全体積ひずみ、 $3c_m$ は平均有効主応力の変化による土要素の骨格構造の体積圧縮率であり、次式のようにして求められる⁴⁾。

$$3c_m = \frac{c}{(1+e_0)} \frac{\log_{10}(\sigma'_m + \Delta\sigma'_m) / \sigma'_m}{\Delta\sigma'_m} \dots\dots(3)$$

ここに e_0 は空隙比、 c は $\sigma \sim \log_{10} \sigma'_m$ 関係の直線部の勾配であって圧縮指数 c_c または膨張指数 c_o とよばれているものである。

等方圧密土を基礎とした式(1)および式(2)のダイレ

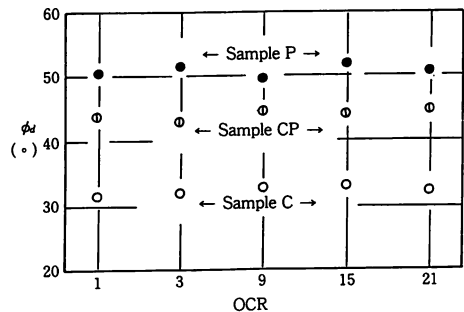


図 2 ϕ_d と OCR の関係

過圧密泥炭のせん断特性に関する実験的研究

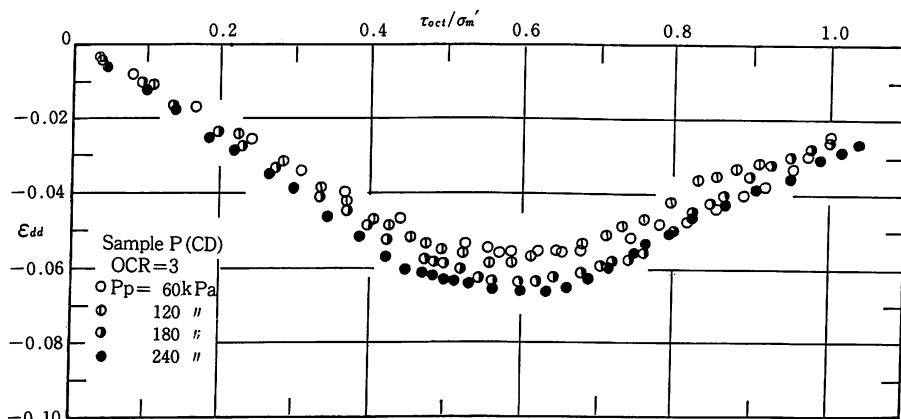


図3 ϵ_{dd} と τ_{oct}/σ'_m の関係

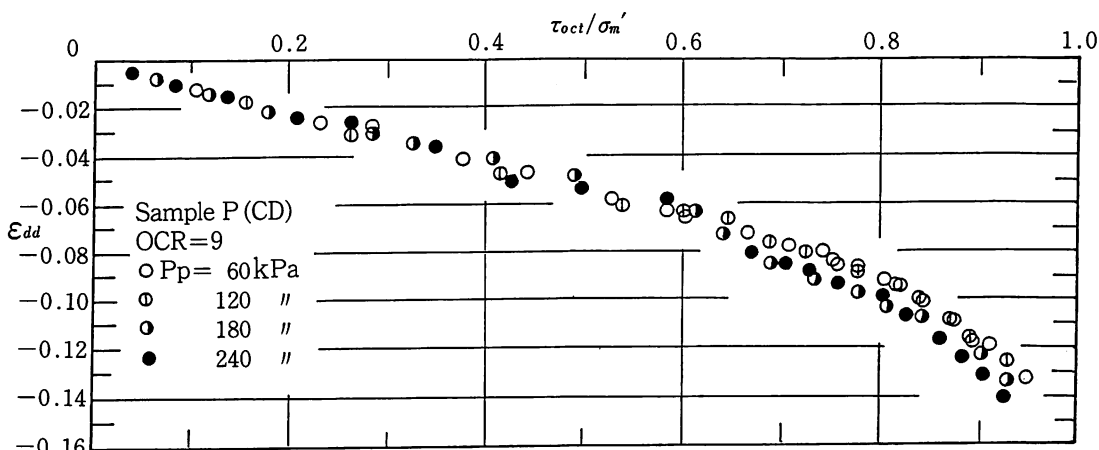


図4 ϵ_{dd} と τ_{oct}/σ'_m の関係

イタンシー基本式については、異方圧密非排水および排水条件下におけるそれに拡張して適用することが可能であることを実証した⁵⁾。そこで式(2)のダイレイタンシー基本式を用い、過圧密排水条件下においてもその適用が可能かどうか検討を加え、さらに同条件下におけるダイレイタンシー性状を調べるものである。

せん断過程において、排水状態で作用応力を受けたとき、偏差応力成分によるダイレイタンシー ϵ_{dd}

は、前述したように式(2)によって述べられる。ここで体積圧縮率 $3c_m$ は式(3)で示され、この式の係数Cとしては、排水せん断過程における応力経路の状態から考えて、圧縮指数 c_c を用いた。そこで試料P、試料CPおよび試料Cについて、過圧密後の排水せん断過程におけるダイレイタンシー ϵ_{dd} と正八面体面上の応力比 τ_{oct}/σ'_m との関係を示せば、図3~11となる。なお、これらの図は、過圧密比3、9、21について示したものである。さて、図には示してい

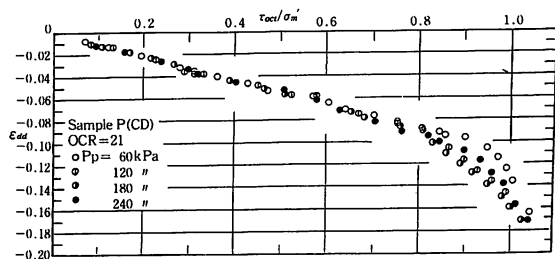


図5 ϵ_{dd} と τ_{oct}/σ'_m の関係

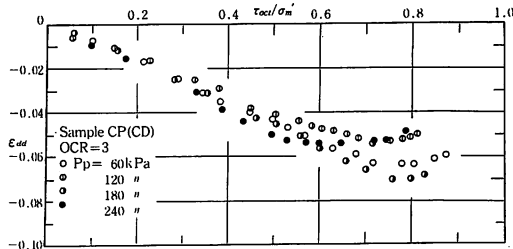


図6 ϵ_{dd} と τ_{oct}/σ'_m の関係

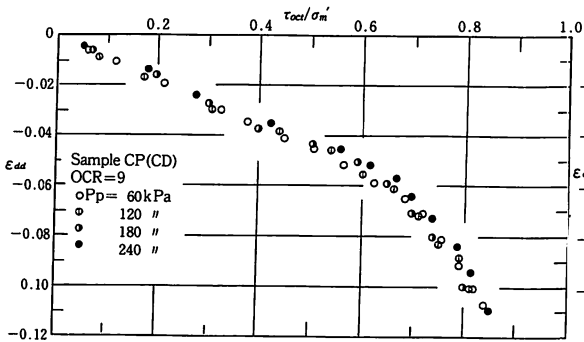


図7 ϵ_{dd} と τ_{oct}/σ'_m の関係

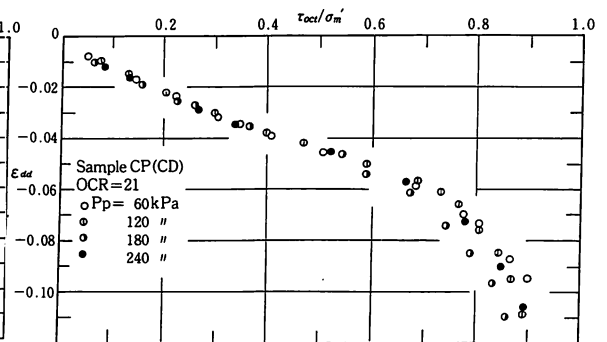


図8 ϵ_{dd} と τ_{oct}/σ'_m の関係

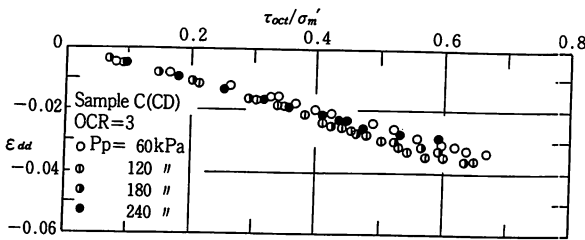


図9 ϵ_{dd} と τ_{oct}/σ'_m の関係

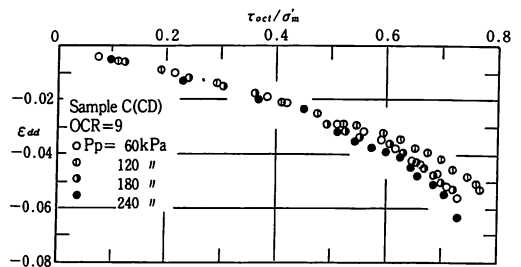


図10 ϵ_{dd} と τ_{oct}/σ'_m の関係

ないが、既報⁴⁾により各試料の正規圧密状態における ϵ_{dd} の挙動は、圧力比の増加にともなって、すべて収縮(正)することが確認された。そこで各試料について、過圧密比をパラメータとして ϵ_{dd} の挙動を検討してみる。過圧密比3における試料P、試料CPおよび試料cの ϵ_{dd} の性状は、各試料とも先行圧密圧力に関係なく、応力比の増加にともなってほぼ線形的に膨張(負)し、ある応力比の領域を越えると ϵ_{dd} は膨張から収縮に変化する傾向を示す。そしてこの傾向は、有機物含有量が増大するほど顕著であることが認められる。これは、過圧密比が3程度では正規圧密に近い状態、すなわち不安定な応力状態であることが一つの要因と考えられ、これに各試料の構成材料の相違によって、さらに複雑な挙動を示したものと判断される。

次に各試料について過圧密比9以降のダイレイタンス性状を検討してみる。これらの図で示されるように、各試料の ϵ_{dd} は、ともに先行圧密圧力に関係なく、応力比の増加にともなって、ほぼ線形的に膨張(負)し、破壊に近づくにつれて急激にその傾向が大きくなる。

著者は、すでに等方圧密、異方圧密後の非排水および排水条件下におけるダイレイタンスを次式で表示できることを示した⁴⁾⁵⁾。

$$\epsilon_d = D \left(\frac{\tau_{oct} - \tau_o}{\sigma'_m} \right) \dots\dots\dots(4)$$

ここで、 ϵ_d はダイレイタンス、 τ_o はせん断応力 τ_{oct} がこの応力以下では、ダイレイタンスがほとんど生じないという限界値、D はダイレイタンス係数である。

そこで、式(4)で示される過圧密排水条件下におけるダイレイタンス係数の適用性について検討してみる。

ダイレイタンス係数 D_d は、図3～11の性状からわかるように、ほぼ線形的な膨張部分(負)に式(4)を適用 ($\tau_o = 0$) することによって、求めることが可能であると考えられる。そこで各試料について、同条件下から得られたダイレイタンス係数 D_d (絶

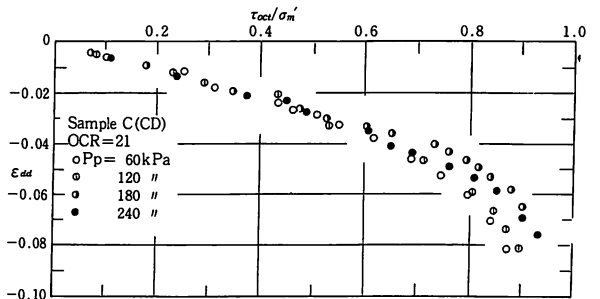


図11 ϵ_{dd} と τ_{oct}/σ'_m の関係

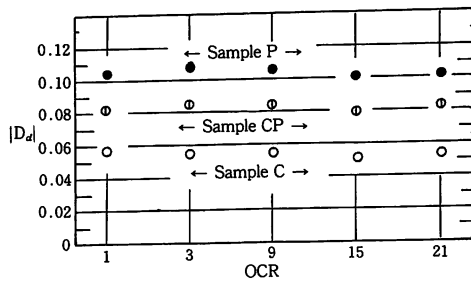


図12 D_d と OCR の関係

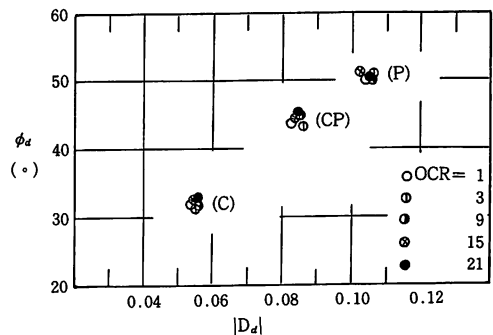


図13 ϕ_d と D_d の関係

対値表示) を過圧密比に対応して示せば、図12となる。この図には、正規圧密状態における各試料のダイレイタンシー係数についても併示している⁴⁾。また、同図の中で示されていないが、過圧密比 $1 < OCR < 3$ までのダイレイタンシー係数、すなわちダイレイタンシー ε_{ad} は、この過圧密比が移行する過程で、収縮 (+) から膨張 (-) へ推移することが予測される。このため、同図から示される各試料のダイレイタンシー係数は、それぞれ過圧密比の範囲によって異なり、過圧密比が3以上では、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。

過圧密土のせん断特性を明らかにするために、せん断抵抗角とダイレイタンシー係数とを直接対比して示せば、図13となる。正規圧密⁴⁾ および過圧密排水条件下におけるせん断抵抗角は、前図で示されるダイレイタンシー係数の挙動から、正規圧密⁴⁾ ならびに過圧密比3以上では、それらのダイレイタンシー係数と密接に関係し、ダイレイタンシー係数の増加にともなって大きくなるのがわかる。また各試料について、正規圧密および過圧密 ($OCR \geq 3$) によるせん断抵抗角がほぼ等しいことは、これらのダイレイタンシー係数が一致することによる。このように、過圧密土の排水せん断試験による強度定数は、正規圧密土と同様⁴⁾、せん断過程におけるダイレイタンシー特性 ($OCR \geq 3$) と深くかかわり合っていることが認められる。

4. 結 論

泥炭性有機質土のせん断特性におよぼす応力履歴の影響について解析した結果の一端を示したものである。これらを要約すると次のようになる。

1) 泥炭性有機質土、粘土およびその混合土のせん断抵抗角 ϕ_d は、過圧密比による影響を受けず、ほぼ一定となった。

2) 過圧密状態においても、応力が作用した場合の全体積ひずみは、等方応力成分と偏差応力成分の重ね合わせとして表示され、その結果としてダイレイタンシーが定量的に把握された。

3) 各試料のダイレイタンシー係数 D_d は、ともに過圧密比による影響を受けず ($OCR \geq 3$)、一定となることが認められた。

4) 正規圧密および過圧密 ($OCR \geq 3$) によるせん断抵抗角 ϕ_d は、それらのダイレイタンシー係数 D_d と密接に関係し、ダイレイタンシー係数の増加にともなって大きくなる傾向を示した。

参 考 文 献

- 1) Adams, J. I. (1961): "Laboratory compression test on peat", Proc. Seventh Muskeg Res. Conf. Tech. Memo. 71, PP. 36~54.
- 2) Hanrahan, E. T. (1954): "An investigation of some physical properties of peat", Géotechnique, vol. 4, No.3, PP. 108~123.
- 3) Hanrahan, E. T. (1967): "Shear strength of peat", Proc. the Geotechnical Conf. Oslo, vol. 1, PP. 193~198.
- 4) 対馬雅己・及川洋 (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」, No.2, PP. 132~141.
- 5) 対馬雅己 (1984): 泥炭性有機質土のせん断特性に関する実験的研究, 「土質工学会論文報告集」, No.3, PP. 159~167.
- 6) 森茂・大平至徳・山口晴幸 (1982): 過圧密ビートの非排水強度特性について, 「土木学会38回年次学術講演会概要」, PP. 571~572.
- 7) 中瀬明男・小林正樹・勝野克 (1969): 圧密および膨張による飽和粘土のせん断強度の変化,

「港湾技術研究報告」, vol. 8, No.4, PP. 103~143.

8) Henkel, D. J. (1956) : "The effect of overcons-

olidation on the behaviour of clays during shear", Geotechnique vol. 6, PP. 139~150.