

乱さない泥炭のせん断特性について

対馬 雅己

A study of shear characteristics of undisturbed peat

Masaki TSUSHIMA
(昭和60年10月31日受理)

Dilatancy and angle of shearing resistance behaviour of undisturbed peat under isotropic stress conditions were investigated. The samples were obtained by using the thin-walled tubes, 70mm in diameter and 300mm in height. The specimens were isotropically normally consolidated and then sheared under undrained condition.

Results of analysis are summarized as flows:

- (1) Coefficient of dilatancy and angle of shearing resistance obtained from undisturbed and disturbed sample were influenced strongly by ignition-loss as the index.
- (2) The amount of dilatancy of undisturbed sample was found to be twice as much than disturbed sample.
- (3) Both the angle of shearing resistances of undisturbed and disturbed sample were closely related to the dilatancy characteristics.

1. ま え が き

著者は過去の研究で乱した泥炭を中心に、正規圧密、過圧密状態におけるせん断特性を明らかにした¹⁾²⁾。この研究をさらに発展させるためには、乱さない試料の力学的性質を把握するとともに、乱した試料との対比においての検討が必要であると考えられる。

本研究では、乱した試料の力学的性質を基礎として、乱さない泥炭の等方圧密非排水条件下でのせん断特性について考察を加えている。

2. 試料および実験方法

試料は、秋田県雄物川流域および八郎潟周辺から採取した4種類の乱さない泥炭性土であつて、物理的性質を表-1に示す。この表には、各試料についての日本統一土質分類による分類名をも併記して

いる。試料は、内径70mm、長さ300mmのサンプリングチューブを表層付近の泥炭層に押し込んで採取したものである。供試体は、サンプリングチューブから押し出した試料をカッターナイフなどで慎重に上下端面のみを仕上げたもので、直径70mm、高さ150mmの円柱形である。

試験は等方圧密非排水三軸圧縮試験である。供試体を30, 60, 90, 120, 150kpaの圧力で等方圧密し、非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%以下という条件とした。せん断過程における軸ひずみ速度は0.1%/minとし、発生間隙水圧の測定は供試体の底端部において水銀マンオメーターによりゼロ位法で行い、軸方向変位はダイヤルゲージ、軸圧はプルベングリッドで測定した。また、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。

表-1 乱さない試料の物理的性質

試料	分類名	自然含水比(%)	比重	液性限界(%)	塑性指数	強熱減量(%)	圧縮指数	分解度(%)
Na. 1	黒泥(Mk)	336	1.97	315	148	44	2.79	73.1
Na. 2	黒泥(Mk)	400	1.75	416	215	54	3.59	83.8
Na. 3	黒泥(Mk)	440	1.72	512	216	55	3.65	84.9
Na. 4	ピート(Pt)	720	1.50	693	363	93	5.38	41.0

図1 軸差応力 ($\sigma_1 - \sigma_3$) と軸ひずみ ϵ_1 の関係

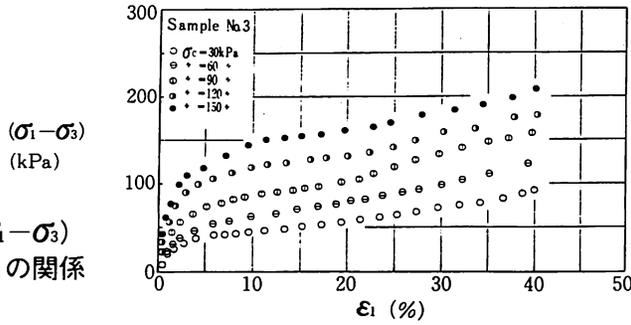
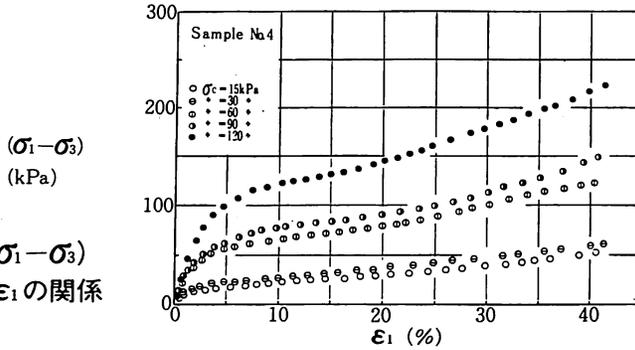


図2 軸差応力 ($\sigma_1 - \sigma_3$) と軸ひずみ ϵ_1 の関係



3. 実験結果および考察

3.1 強度特性

この節では、泥炭のピークの生じない応力～ひずみ曲線からせん断強さを決定する方法とそれによるせん断抵抗角、強度増加率などについて明らかにする。

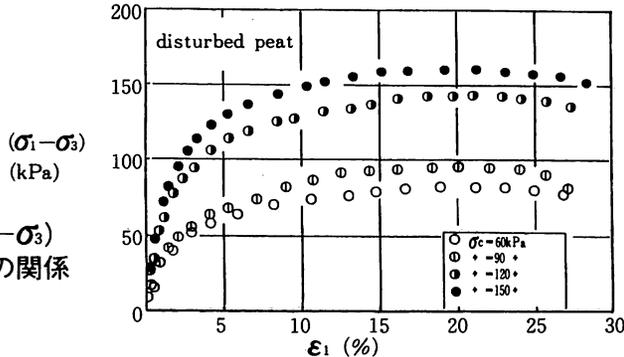
4種類の乱さない泥炭の中で、試料No.3とNo.4についてのせん断時の軸差応力($\sigma_1 - \sigma_3$)と軸ひずみの関係を示したのが、図-1,2である。これらの図から分かるように、軸差応力($\sigma_1 - \sigma_3$)はせん断初期において急激に上昇し、それ以降はゆるやかに増大する傾向を示す。また、各試料における($\sigma_1 - \sigma_3$)の値は、圧密圧力 σ_c の大きさに対応していることが分かる。しかしながら、軸差応力の明確なピークは、軸ひずみが40%以上になっても現われず、むしろ20%付近からや

や直線的に増加するようである。このような応力～ひずみ曲線は、軸対称三軸圧縮試験において及川ら³⁾によって報告されており、また他の試験でも確認されている⁴⁾⁵⁾⁶⁾。これに対して図-3で示すように¹⁾乱した泥炭の軸差応力と軸ひずみの挙動は、基本的に図-1,2の傾向とほぼ同じであるが、軸差応力の最大値が圧密圧力によらず、約20%前後の軸ひずみで生じている点において異なっている。

このことから、図-1,2と図-3の応力～ひずみ曲線の相違は、泥炭性土の構成材料の違いならびに分解度、更に試料を攪乱することによる骨格構造の変化などが要因として考えられるが、図-1,2のような応力～ひずみ曲線の特異性に与えるこれらの要因の大小については、今後なお検討の余地が残されている。

次に非排水せん断中に発生する間隙水圧について調べてみる。試料No.3, No.4についてのせん断中に

図3 軸差応力 ($\sigma_1 - \sigma_3$) と軸ひずみ ϵ_1 の関係



乱さない泥炭のせん断特性について

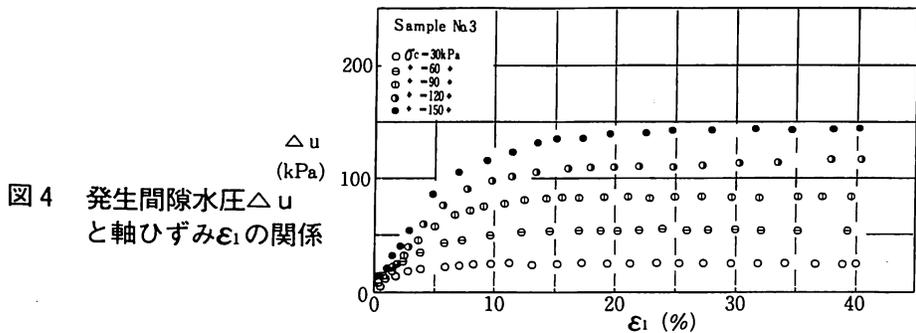


図4 発生間隙水圧 Δu と軸ひずみ ϵ_1 の関係

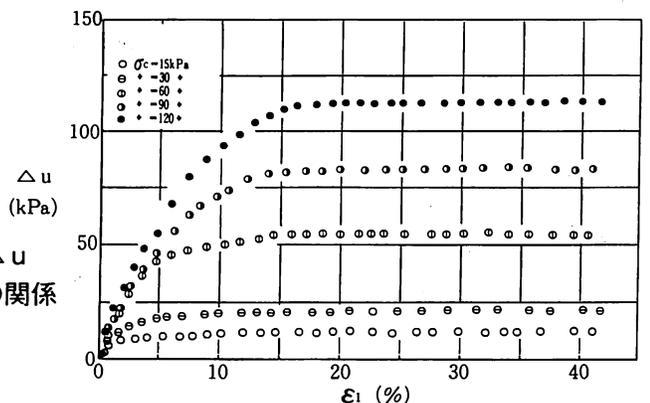


図5 発生間隙水圧 Δu と軸ひずみ ϵ_1 の関係

発生した間隙水圧 Δu を軸ひずみ ϵ_1 に対して示したのが、図-4,5である、これらの試料における Δu の挙動は、各圧密圧力の大きさに対応して増大していることが分かり、この傾向は乱した試料¹⁾と定性的に同様である。 Δu の性状について、もう少し詳しく検討してみる。試料No. 3, No. 4の発生間隙水圧 Δu は、いずれもせん断初期において急激に増加するが、軸ひずみ ϵ_1 が約20%以上になるとほぼ一定となり、乱した泥炭や粘土の挙動と類似している。

さて、図-1,2で示される乱さない泥炭の応力～ひずみ曲線から、どのようにしてせん断強さを決定するかを考えてみる。このような場合、従来粘性土などに適用されているように、軸ひずみ15%におけるせん断抵抗をせん断強さとする方法⁷⁾、更に最大主応力面と45°をなす平面上の有効応力軌跡が、初めて破壊包絡線に達したときの点のせん断抵抗をもって、せん断強さとする方法⁸⁾などがある。本実験で用いた乱さない試料については、せん断時の軸ひずみが約20%以上になると、供試体の底面周辺に間隙水がにじみ出てくるという現象が観察され、更に軸ひずみが30%前後になると間隙水の流出が供試体全体におよぶことが認められた。また、これによる供試体の変形もかなり不均一なものとなるため、従来行なわれている軸ひずみ ϵ_1 に対する供試体の断面補正⁷⁾にも疑問が生じてくる。したがって、以上の観点か

ら通常粘性土に適用されているように⁷⁾、軸ひずみが15%に達したときのせん断抵抗をもって、せん断強さとする方が妥当であると判断される。この処理方法は、本実験で用いた試料に適用したものであり、このことは当然泥炭性土の植物の種類、生成の履歴、分解度、更にせん断過程における供試体の状況などを考慮して、その都度検討した方がよいと考えられる。

さて、前述したような観点に基づいて、非排水せん断強さを軸ひずみ15%におけるせん断抵抗で定義し、試料No. 4の $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$ と $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$ の関係を示したのが、図-6である。破壊包絡線は、原点を通るものとしてさしつかえないと考えられ、 $\phi = 66.9^\circ$ (有効応力解析)となる。また、図には示していないが、試料No. 1～No. 3についても図-6のそれとほぼ同様な傾向を示した。

図-7は試料No. 1～No. 4についてのせん断抵抗 ϕ と強熟減量 L_i 関係を示したものであって、 ϕ は L_i の増加にともなって増大する傾向を示す。これは、乱した試料¹⁾と定性的に同様であって、後述するように有機物含有量の多い試料ほどダイレイタンシー係数が大きく、発生間隙水圧が大きい結果、 ϕ が増大するものと考えられる。また、同図の $\phi \sim L_i$ 関係から上述の乱した試料とほぼ同一の L_i 値の試料について ϕ を比較すると、乱さない試料の ϕ 値は乱した

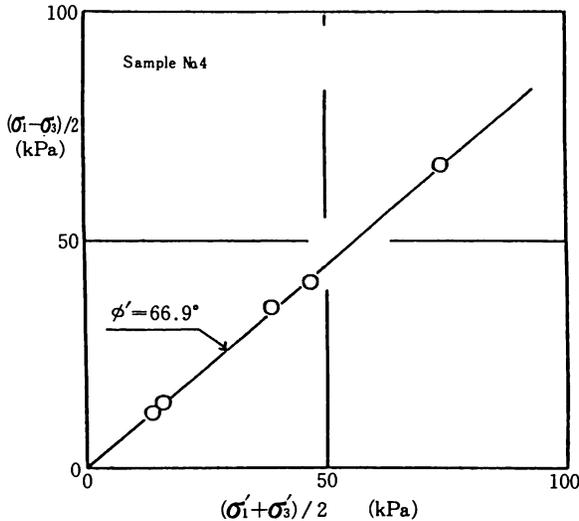


図6 軸ひずみが15%に達したときのせん断強さの有効応力状態

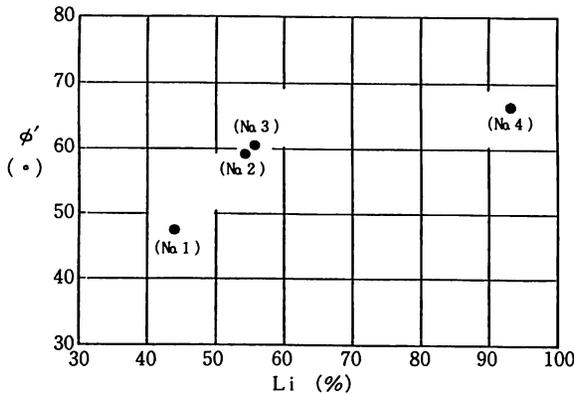


図7 非排水せん断抵抗角φ'と強熱減量Liの関係

試料のそれよりも20%程度大きい値をとることになる。したがって、φ'の値は試料の状態（不攪乱、攪乱）によって大きく変化し、その差は20%程度になるものと結論される。

図-8は非排水せん断強さCuを軸ひずみε_iが15%に達したときのせん断抵抗で定義し、それを圧密圧力P_cに対してプロットしたものである。多少ばらつきはあるものの、CuとP_cはほぼ直線的関係にあると考えられ、Cu/P_c=0.61が得られる。また図に示していないが、試料No 1～No 3のCuとP_cの関係についても、上記と同様な挙動を示した。

強度増加率C_c/P_cは軟弱地盤の圧密による地盤改良効果の指標として用いられ、泥炭性土のCu/P_cは通常の粘性土におけるCu/P_c≒0.2～0.3の値よりも大きく、したがって圧密による効果は粘性土よりも期待しうるといわれている。

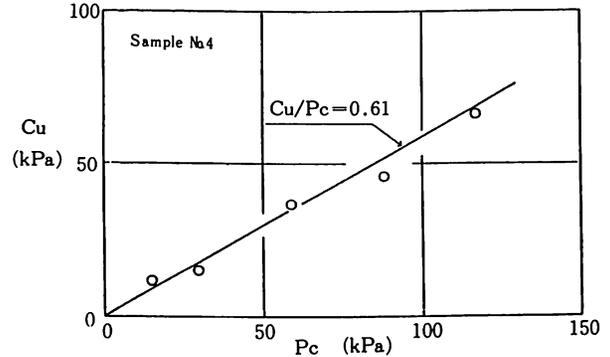


図8 非排水強度Cuと圧密圧力P_cの関係

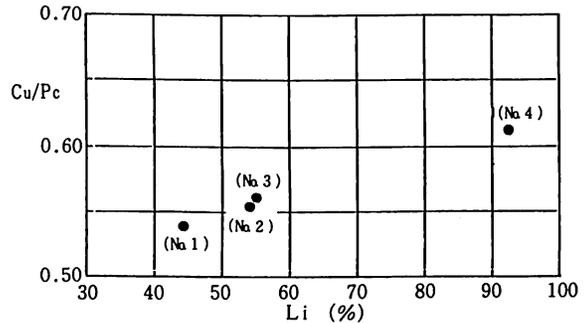


図9 強度増加率Cu/P_cと強熱減量Liの関係

図-9は強度増加率Cu/P_cと強熱減量Liの関係を示したものであって、図-7φ'と同様、Cu/P_cについてもLiの増加にともなって増大する傾向がみられる。

3・2 ダイレイタンシー特性

この節では、4種類の乱さない試料についての非排水条件におけるダイレイタンシー性状を把握し、かつ乱した試料との関連性についても検討する。

偏差応力による体積ひずみε_dは、既報より非排水条件下ではダイレイタンシー相当量ε_{du}として、次式で示される。

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

ここに3C_mは平均有効主応の変化による土骨格の体積圧縮率である。

そこで、試料No3とNo4についての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、各圧密圧ごとに示したのが、図-10,11である。これらの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。また図には示していないが、試料No 1, No 2についても上記と同様な性状を示した。図-10,11について、乱した泥炭¹⁾のそれと比較すると、乱さない試料の方が約2倍以上の大きい値を示している。本実験に用いた乱さない試料は、乱した試料¹⁾と採取地が異なる。

乱さない泥炭のせん断特性について

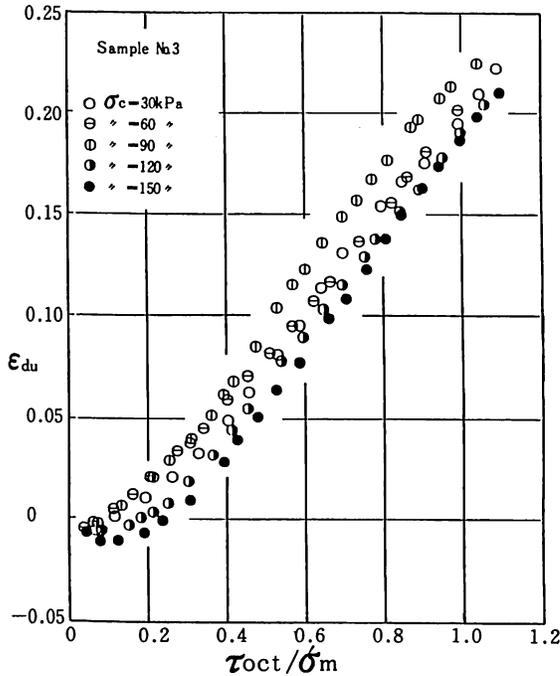


図10 ダイレイタンシー相当量εduと正八面体上の応力比τoct/σmの関係

るので直接比較は出来ないが、コンシステンシー限界や強熱減量からすると、試料No.2 およびNo.3 が乱した試料の物性値に近い。いずれにしても、εduの発生量に大きな差があるのは攪乱による骨格構造の違いが大きな要因と考えられ、更に泥炭性土の分解度や泥炭層生成の際の履歴による構成植物の種類、その密度などが互いに関連し合っているものと推測される。

図-10,11のεduの挙動について、更に詳しく検討してみる。これらのεduは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εduは応力比の増分に対応して、ほぼ直線的に収縮することが分る。また表-2には、各試料についてのダイレイタンシー(収縮)が生じな

表-2 ダイレイタンシーが生じない
応力比の限界値τo/σm

試料	試料の状態	τo/σm
Na. 1	不攪乱	0.13
Na. 2		0.14
Na. 3		0.15
Na. 4		0.13
P	攪乱	0.11
C P		0.10
C		0.12

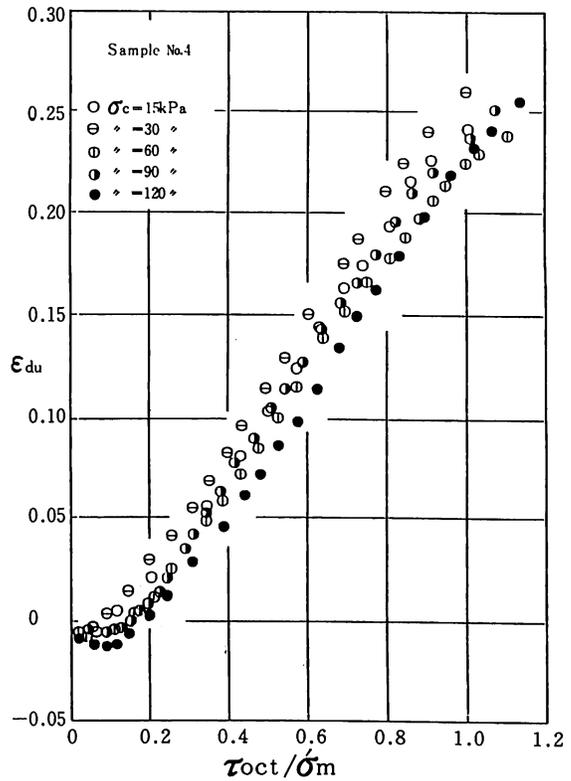


図11 ダイレイタンシー相当量εduと正八面体上の応力比τoct/σmの関係

い応力比の限界値τo/σmを示したものであって、比較のために乱した試料¹⁾のτo/σmの値を併記している。この表から分るように、ダイレイタンシー(収縮)が生じない応力比の限界値は試料の種類、分解度、更に試料の状態(攪乱、不攪乱)などに依存しないことを示唆するものである。

非排水条件におけるεduとτoct/σmとの間に線形関係が成り立つとすれば、ダイレイタンシー式として次式が適用される。

$$\epsilon_{du} = D_u \left(\frac{\tau_{oct} - \tau_o}{\sigma_m} \right) \dots\dots\dots(2)$$

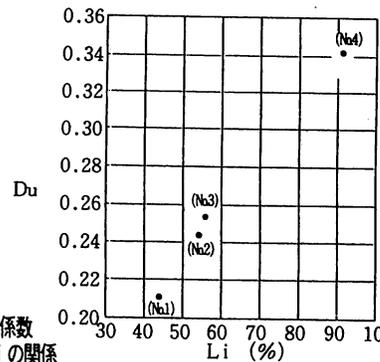


図12 ダイレイタンシー係数Duと強熱減量Liの関係

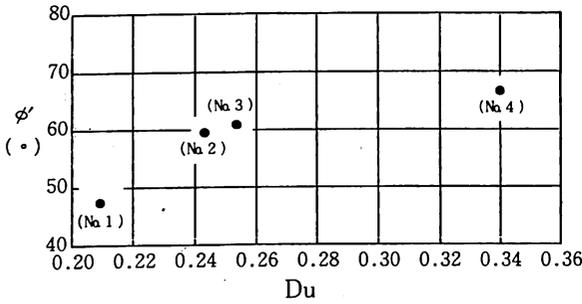


図13 非排水せん断抵抗角 ϕ' と
ダイレイタンスー係数Duの関係

ここにDuは、ダイレイタンスー係数、 τ_0 はこの応力以下ではダイレイタンスーがほとんど生じないという限界値である。そこで、試料No.1~No.4について式(2)を適用して得られたダイレイタンスー係数Duと強熱減量Liとの関係を示したのが、図-12である。ダイレイタンスー係数Duは有機物含有量の増大にともなって増加する傾向を示す。この傾向は乱した試料¹⁾においても定性的に同様であるが、ほぼ同じLi値の試料について比較すると、乱さない試料のDu値は乱した試料のそれより2倍以上の大きい値をとる。

乱した泥炭については、そのダイレイタンスーとせん断抵抗角とが密接に結びつくものであることを既報¹⁾で述べた。このことを、乱さない泥炭について確かめるために、図-7のせん断抵抗角と図-12のダイレイタンスー係数の値を直接対比して示したのが、図-13である。せん断抵抗角 ϕ' はダイレイタンスー係数Duと密接に関係し、Duの増大にともなって大きくなる傾向を示す。

したがって、非排水せん断試験による泥炭のせん断抵抗角 ϕ' は試料の状態、すなわち乱した試料および乱さない試料に関係なく、せん断過程におけるダイレイタンスー特性と深くかかわり合っていることが分かる。

3. 結論

乱した試料の研究成果を基礎として、乱さない試料のせん断特性について調べた。得られた結果を要約すると次のようである。

(1) ダイレイタンスー相当量はほぼ同じ強熱減量

値の乱した試料のそれと比較すると、約2倍以上の値をとることになる。このことの大きな要因は、試料の状態(攪乱、不攪乱)によるものと推測される。

(2) せん断抵抗角およびダイレイタンスー係数は乱した試料と同様、いずれも有機物含有量の増加にともなって大きくなる。

(3) せん断抵抗角は試料の攪乱、不攪乱に関係なく、せん断過程におけるダイレイタンスー特性と深くかかわり合っていることが確認される。

参考文献

- 1) 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スーについて、「土質工学会論文報告集」, Vol 23, No 2, PP. 132~141
- 2) 対馬雅己・三田地利之(1985): 泥炭性有機質土のダイレイタンスー特性に及ぼす応力履歴の影響、「土質工学会論文報告集」, Vol 25, No 3, PP. 206~216
- 3) 及川洋・宮川勇(1980): 乱さない泥炭の非排水せん断特性について、「土質工学会論文報告集」, Vol 20, No 3, PP. 91~100
- 4) Ward, W. H. (1948): Aslip in a Flood Defence Bank Constructed on a Peat Bog, Proc. 2nd ICSMFE., PP. 19~28.
- 5) 渡辺崇博(1973): 有機質軟弱地盤上の道路盛土の施工、「土と基礎」, Vol 21, No 2, PP. 29~36
- 6) 土質工学会編(1982): 「土質調査法」, 第2回改訂版
- 7) 土質工学会編(1980): 「土質試験法」第2回改訂版
- 8) 松尾稔・軽部大蔵(1966): 室内せん断試験結果の設計への適用に際する2, 3の問題点, 「第11回土質工学会シンポジウム」, PP. 91~100
- 9) 土質工学会編(1976): 「土質工学ハンドブック」 PP. 736
- 10) 宮川勇(1959): 泥炭地の土質工学的調査研究, 第3報, 「北海道開発局土木試験所報告」, 第20号