

有機質土および粘性土の非排水せん断試験におけるダイレイタンスー現象に関する一考察

三浦 雅己・岩崎 恒明*・宮川 勇**

A Study of the Phenomena of Dilatancy on
Undrained Shear Test of Peat and Clay

Masaki MIURA, Tsuneaki IWASAKI* and Isamu MIYAKAWA**
(昭和51年10月31日受理)

1. ま え が き

有機質土は無機質土に比べてその構成内容が複雑であり、その骨格構造を構成している材料の違いや応力・変形条件によってその挙動が変化するものと考えられる。ここでは有機質土および粘性土の非排水せん断過程において発生する間ゲキ水圧の挙動を通じて、そのダイレイタンスー特性について若干の検討を試みたい。

2. 実験についての考え方

応力が作用した場合の土粒子骨格要素に生じる体積ヒズミは次式で表わされるとする。

$$\epsilon_s = \epsilon_c + \epsilon_d \quad \dots\dots(1)$$

ここに ϵ_s : 応力変化による全体積ヒズミ

ϵ_c : 等方応力成分の増分による体積ヒズミ

ϵ_d : 偏差応力成分の増分による体積ヒズミ

さらに ϵ_c , ϵ_d は次式で表わされるとする。

$$\epsilon_c = 3 C_s \bar{d}\sigma_m \quad \dots\dots(2) \quad \epsilon_d = D \bar{d}\tau \quad \dots\dots(3)$$

ここで $3 C_s$ は等方応力の増分 $\bar{d}\sigma_m$ の変化による土粒子骨格の圧縮率又は膨潤率であり、 $\bar{\sigma}_m$ が増加過程にあるか減少過程にあるかによって異なる値をもつもので、その応力条件下における土粒子要素の挙動に対応するものである。また D は偏差応力 $\bar{d}\tau$ が作用した場合、土粒子骨格が収縮するか又は膨張するかの傾向に応じて正又は負の値をとる任意のダイレイタンスー係数である。

(2)式における応力を全応力 $\bar{d}\sigma_m$ と発生間ゲキ水圧 $\bar{d}u$ によって示せば

$$\epsilon_c = 3 C_s (\bar{d}\sigma_m - \bar{d}u) \quad \dots\dots(4)$$

となり、(3), (4)式を(1)式に代入すれば

$$\epsilon_s = 3 C_s (\bar{d}\sigma_m - \bar{d}u) + D \bar{d}\tau \quad \dots\dots(5)$$

ここで間ゲキ水圧の発生によって間ゲキ流体に体積ヒズミが生じれば、その体積ヒズミ ϵ_v は次式で表わされる。

$$\epsilon_v = C_v n \bar{d}u \quad \dots\dots(6)$$

ここに n : 土粒子要素の間ゲキ率

C_v : 間ゲキ流体の体積変化率

非排水状態で $\epsilon_s = \epsilon_v$ とおけるとすれば、(5), (6)式より

$$n C_v \bar{d}u = 3 C_s (\bar{d}\sigma_m - \bar{d}u) + D \bar{d}\tau \quad \dots\dots(7)$$

となり、これを間ゲキ水圧について解けば

$$\bar{d}u = \frac{1}{1 + C_v n / 3 C_s} [\bar{d}\sigma_m + D / 3 C_s \bar{d}\tau] \quad \dots\dots(8)$$

飽和土では $C_v \ll C_s$ とみなされるから

$$\bar{d}u = \bar{d}\sigma_m + D / 3 C_s \bar{d}\tau \quad \dots\dots(9)$$

となる。

したがって偏差応力による体積ヒズミ相当量は、非排水状態では(9)式より

$$D \bar{d}\tau = 3 C_s (\bar{d}u - \bar{d}\sigma_m) \quad \dots\dots(10)$$

排水状態では(5)式において、 $\bar{d}u = 0$ として

$$D \bar{d}\tau = \epsilon_s - 3 C_s \bar{d}\sigma_m \quad \dots\dots(11)$$

となる。ここに $3 C_s$ は次式のようにして求められる。

$$3 C_s = \frac{C \log \{ (\bar{\sigma}_m + \bar{d}\sigma_m) / \bar{\sigma}_m \}}{(1 + e) \bar{d}\sigma_m} \quad \dots\dots(12)$$

ここで e は間ゲキ比、 C は等方圧密における $e \sim \log \bar{\sigma}_m$ 関係の直線部の勾配であって、 $\bar{\sigma}_m$ が増加過程にあるか減少過程にあるかに応じて圧縮指数 (C_c) 又は膨潤指数 (C_{cs}) と呼ばれているものである。

3. 試料および実験方法

試験に用いた試料は粘性土、有機質土ともに秋田県横手市郊外の雄物川流域から採取したものである。これら

* 応用地質調査事務所

** 秋田大学鉱山学部土木工学科教授

表-1 試料の物性

	有機質土	粘性土
比 重	1.82	2.68
液性限界 (%)	420	68
塑性限界 (%)	197	36
強熱減量値 (%)	57	6
粘土分 (%)		67

の試料の物性は表-1 に示す通りである。また今回用いた有機質土はかなり分解が進んでおり、日本統一土質分類における (M_k) に近いものとみなされる。試料は攪乱したものをを用い、あらかじめ圧密時の拘束圧よりやや低い圧力で予圧密した後、ほぼ直径 3.5 cm、高さ 8.75 cm の円柱形の供試体に成形した。また圧密を促進するためにペーパードレーンを用いた。なお圧密開始前に圧密圧力に相当する等方液圧を与えて、Skempton の間ゲキ水圧係数 B を測定し、その結果によっては B ≥ 0.95 になるまで back pressure を与えた。圧密終了の判定は残留間ゲキ水圧 2% 以下という条件によった。その後ただちに軸変位速度 0.083 mm/min (ヒズミ速度で約 0.1%/min) で三軸非排水 セン断試験を行ない、間ゲキ水圧の測定は供試体の底端部とした。圧密圧力は 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 kg/cm の 5 段階である。

4. 結果と考察

非排水状態で作用応力を受けたとき、土粒子骨格要素に生じる体積変化傾向は、等方応力成分によるものと偏差応力成分によるものとの結果の和として(9)式で示される間ゲキ水圧変化 Δu としてあらわれる。偏差 応力成分による体積ヒズミ相当量は(10)式であらわされる。ここで土粒子骨格要素の等方応力成分による体積圧縮率 3C_s は(12)式で示される実験データから求められる。ここに(12)式の係数 C としては、非排水セン断過程における応力径路の状態から考えて、膨潤過程における C_{cs} を用いる方が妥当と思われるが、ここでは一応圧縮過程における C_c を用いてその定性的傾向を推定した。

体積圧縮率 3C_s の平均有効主応力 $\bar{\sigma}_m$ に対する関係を図-1 に示す。3C_s の値はセン断試験開始点の圧密圧力 σ_c によって異なることになる。また 3C_s は $\bar{\sigma}_m$ に依存し、 $\bar{\sigma}_m$ の増加に伴って漸次減少していくことになり、これを試料ごとに比較すれば粘性土に比べて有機質土の方が大きい値をもつことが明らかである。

次に(10)式で示されるダイレイタンスーによる体積ヒズ

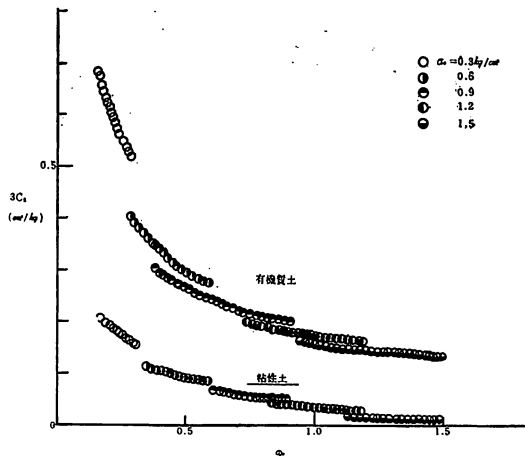


図-1 3C_s ~ $\bar{\sigma}_m$

ミ相当量とその発生因子と考えられる応力比 $\Delta\tau/\bar{\sigma}$ との関係について検討してみる。ここで $\Delta\tau$ は、体積ヒズミの原因となっている付加応力のうちの偏差応力成分の増分であって、ダイレイタンスーの原因となる応力成分である。 $\Delta\tau$ としては、軸差 応力 ($\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3$)、正八面体面のセン断応力 $\Delta\tau_{oct}$ 、あるいはセン断過程において応力傾角が最大となるような面 (ここではモービライズ面といわれているものと一致するので以下この呼称による) におけるセン断応力 $\Delta\tau_{mob}$ など で示される。 $\bar{\sigma}$ としては、平均有効主応力 $\bar{\sigma}_m$ またはモービライズ面の有効直応力 $\bar{\sigma}_{mob}$ など で考えることができる。

図-2、図-3 は有機質土、粘性土のダイレイタンスー相当量と正八面体面における応力傾角との関係を、各圧密圧力ごとに示したものである。これらの図から、いずれの土質についても非排水セン断中において、ほぼ線形関係が認められる。試料ごとにダイレイタンスー相当量を比較すると、有機質土の方がかなり大きい値を示し

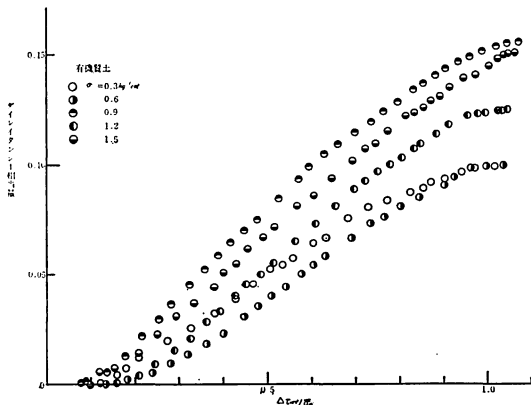


図-2 ダイレイタンスー相当量 ~ $\Delta\tau_{oct}/\bar{\sigma}_m$

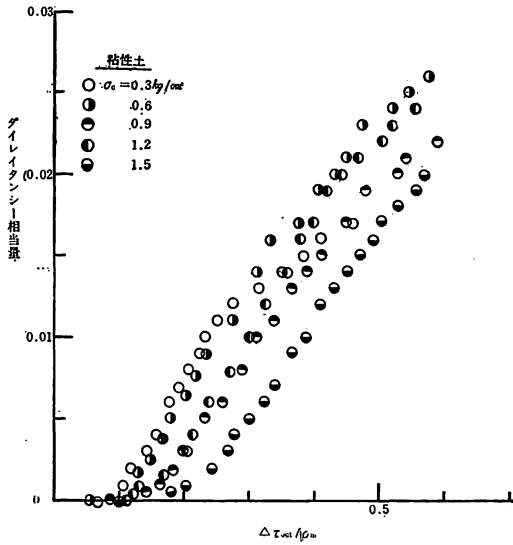


図-3 ダイレイタンスー相当量 $\sim \Delta\tau_{oct}/\bar{\sigma}_m$

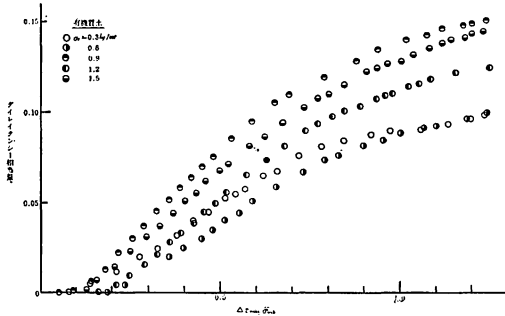


図-4 ダイレイタンスー相当量 $\sim \Delta\tau_{mob}/\bar{\sigma}_{mob}$

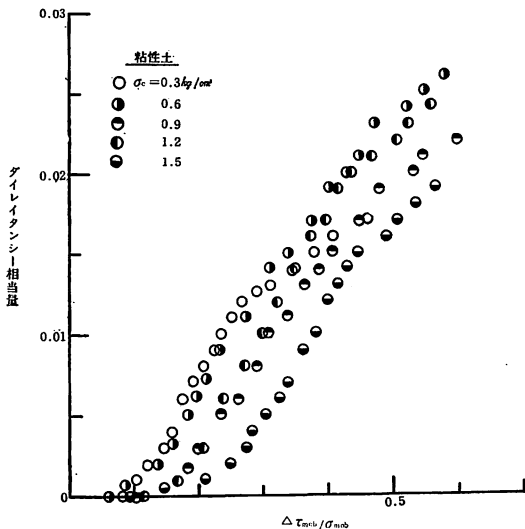


図-5 ダイレイタンスー相当量 $\sim \Delta\tau_{mob}/\bar{\sigma}_{mob}$

ている。これは有機質土粒子自身圧縮性の大きい材料であり、偏差応力を受けた場合土粒子の相対的すべり運動と、土粒子そのものの圧縮変形が相伴って生ずる結果と考えられる。

図-4、図-5はモービライズ面における応力傾角 $\Delta\tau_{mob}/\bar{\sigma}_{mob}$ との関係を示したものである。これはモービライズ面における応力状態によって、ダイレイタンスー量が支配されると考えた場合の表示である。前図の挙動と同様な傾向を示すようであるが、応力比の大きい部分で線形関係からずれていく傾向がみられる。

図-6、図-7はモービライズ面のせん断応力と平均有効主応力との応力比 $\Delta\tau_{mob}/\bar{\sigma}_m$ との関係を対応させたものである。この場合、ダイレイタンスーに対してはモービライズ面のせん断応力が影響力をもつと考え、その応力と等方応力成分を支配する平均有効主応力との応

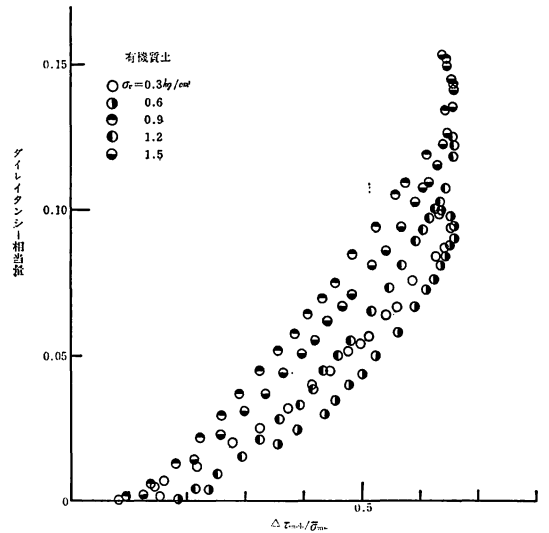


図-6 ダイレイタンスー相当量 $\sim \Delta\tau_{mob}/\bar{\sigma}_m$

力比で、そのダイレイタンスー相当量に対する影響度を検討しようとするものである。有機質土についてはせん断破壊に達する前に、この応力比 $\Delta\tau_{mob}/\bar{\sigma}_m$ が0.6付近でダイレイタンスー相当量が急激に増大する点が存在するようであるが、この点についてはさらに検討していきたい。

以上、図-2～図-7において、ダイレイタンスー相当量と一連の応力比との関係について示したが、共通して言えることは、応力比がある大きさに達するまではダイレイタンスーが発生せず、ある領域を越えると初めてダイレイタンスー相当量は、応力比の増分に対してほぼ比例的に増大する傾向を示すようである。

ここに得られた現象は、既に $\bar{\sigma}_m =$ 一定条件下に行な

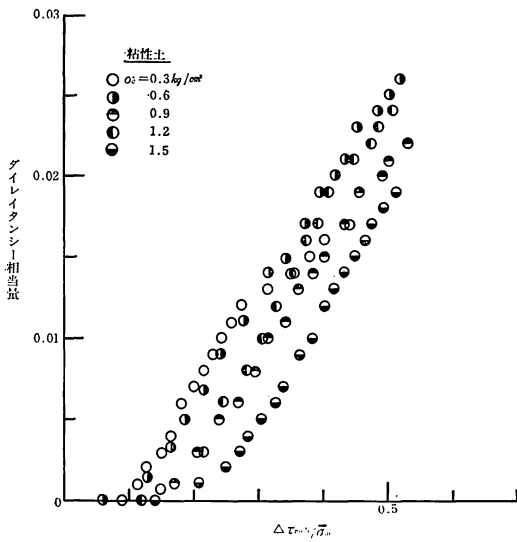


図-7 ダイレイタンスー相当量 $\sim \Delta\tau_{mob}/\bar{\sigma}_m$

われた一連の三軸圧密試験の結果として提示されている²⁾ことであるが、本報では非排水せん断過程における間ゲキ水圧挙動を通じて、この現象を窺知することの可能性について新たな手法を用いて検討している一連の研究の一部として述べたものであり、なお検討すべき多くの問題が残されているので、それらについては継続の研究の結果と併せて別の機会に述べたい。

なお今回の実験において、圧縮指数を用いてダイレイタンスー相当量を表示しているが、現象との対応からすれば膨潤指数を用いて把握するのが合理的であると考え

られ³⁾、このことは宮川・五十嵐⁴⁾により確かめられている。さらに排水せん断過程を通じて定量的に検討を進めたいと考えている。

5. 結 論

- 1) 体積圧縮率 $3C_s$ は $\bar{\sigma}_m$ に依存し、無機質粘性土と比べて有機質土が大きい値をもつ。
- 2) ダイレイタンスー相当量は応力比の一次関数として表わされ、またダイレイタンスーの発生を伴う最小応力比の存在することが、非排水せん断過程における間ゲキ水圧挙動を通じて少なくとも定性的に認められた。
- 3) ダイレイタンスー量は無機質粘性土に比べて、有機質土では大きいことが確認された。

参 考 文 献

- 1) R. F. Scott; "Principles of Soil Mechanics" P. 270 ~ 275
- 2) 柴田徹; "粘土のダイラタンスーについて" 京大防災研究所年報第6号 P. 128 ~ 134 1963年
- 3) 宮川・三浦・岩崎; "有機質土の強度試験に関する一考察" 第10回土質工学会研究発表会講演集 P. 229 ~ 232 1975年
- 4) 宮川・五十嵐; "有機質土の非排水せん断試験についての一考察" 第30回土木学会講演集 P. 227 ~ 228 1975年