

# 鹿沼土の物理的構成とその性質について

誌名	宇都宮大学農学部學術報告 = Bulletin of the College of Agriculture, Utsunomiya University
ISSN	05664691
著者名	鈴木,敬
発行元	[宇都宮大学農学部]
巻/号	12巻1号
掲載ページ	p. 1-10
発行年月	1983年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



# 鹿沼土の物理的構成とその性質について

鈴木 敬・富田平四郎・広瀬有司・池尻 勉

## Physical Constitution and Property of Kanumatsuchi

Takashi SUZUKI, Heishiro TOMITA, Yūji HIROSE, Tsutomu IKEJIRI

### Résumé

It is recently found that Kanumatsuchi is problem soil due to increment of earthwork using construction machine. We investigated the occurrence and the property of Kanuma pumice stratum and determined the structure of Kanumatsuchi from a view point of soil mechanics.

Kanumatsuchi consists of pyroclastics originated from Akagi volcano, and its main element is weathered pumice grain of which the diameter is about 2~20 mm.

As the result of soil test on natural condition, wet density  $\rho_t$ , moisture content  $\omega_n$ , specific gravity  $G_s$ , coefficient of uniformity  $U_c$ , ignition loss  $L_t$ , and organic matter content  $L'_t$  is 1.03~1.15 g/cm<sup>3</sup>, 190~240%, 2.64~2.70, 5.3, 13.6%, and 0.5% respectively.

Taking Kanumatsuchi to pieces, they are classified broadly into four constituent elements: (1) Weathered pumice, (2) Small grained pumice, (3) Imogolite and (4) Volcanic gravel. After natural moisture content  $\omega_i$ , dry weight ratio  $\alpha_i$ , and specific gravity  $G_i$  of each element are determined, moisture content, void ratio and porosity for the whole Kanumatsuchi are calculated by the following equation.

$$\begin{aligned} \omega'_i &= \alpha_i \omega_i & \omega'' &= \omega_n - \sum_{i=1}^2 \omega'_i \\ e'_i &= G_s (\alpha_i / G_i) e_i & e'' &= e_n - \sum_{i=1}^2 e'_i \\ n'_i &= e'_i / (1 + e_n) & n'' &= n_n - \sum_{i=1}^2 n'_i \end{aligned}$$

Where the mark (') and (") represents respectively inside value and outside one of pumice grain (Weathered pumice and Small grained pumice) for the whole Kamumatsuchi.

$S_i$  and  $S_o$  are calculated by the following equations.

$$S_i = \omega_i G_i / e_i \quad S_o = \omega'' G_s / e''$$

Where  $S_i$  is degree of saturation in pumice grain, and  $S_o$  is one among pumice grains. As a result, the following facts become clear.

(1) On natural condition, quantity of moisture and quantity of void in weathered pumic is respectively about 85% ( $(\omega'_1 / \omega_n) \times 100 = 85.2\%$ ) and about 83% ( $(e'_1 / e_n) \times 100 = (n'_1 / n_n) \times 100 = 82.9\%$ ) to the whole quantity.

(2) Degree of saturation in weathered pumice grain ( $S_i$ ) is 88% on natural condition.

(3) Though degree of saturation among weathered pumice grains is relatively high value ( $S_o = 68.4\%$ ), quantity of moisture among weathered pumice grains is no more than 9.7% to the whole quantity on natural condition.

## 1. 緒 言

第四紀火山活動に由来する関東地方の火山灰源の地層群いわゆる関東ローム層については、従来から学問の各分野において相当の調査及び試験研究がなされている。それは、土質工学の分野では問題の性質上主として新期のローム層、それも特別な種々の鍵層を除いた主体的なローム部分に限られて、その性質の究明がなされている。しかしながら、そのローム層中に挟まれた、地質学的層準識別上の鍵層といわれる軽石層については、関東ロームの総体的に知られた土質工学的性質に対して全く異質のものとなし見せるにも拘らず、土質工学上の問題にされることは少なかったようである。たとえ、問題の対象になった場合でも、その性状が明らかでないために安易に基礎の不適切層として取り除かれるのが普通である。

最近、大規模な工事が行なわれる中で、軽石層の土量が割合に大きくなることに対して、おもに工費節約から土質改良も含めて現状土の取り扱いを地域的問題の対象として考えることができる。軽石層について、一般に土質工学的あるいは農地工学的問題の対象になる土層は、深さの観点からは新期ローム層（上部、中部ローム層あるいはこれらに対比される田原、宝木ローム層など）中の軽石層であり、場所的には比較的平地に広く分布する風化の進んだ軽石層であり、また量的な関係から層厚の比較的厚い軽石層である。本研究は、鹿沼軽石層をとりあげ、これが栃木県下の平地部に広く分布し、かつ深さ2～3mの位置にあり、層厚1.5m程度にも及ぶ場合もあって、深さにおいても土量的にも問題の対象になる場合が比較的多いことを認識し、この物理的、力学的性質を明らかにして土工上の問題解決の指針を得ようとするものである。ここでは、鹿沼軽石層の性状の把握と鹿沼土の物理的土質定数の測定結果を述べ、それに基づいて鹿沼土の構成及び状態定数の分析を行なった。

## 2. 鹿沼軽石層の生成

火山活動に伴う大規模な爆発時において、ガスを多量に含んだマグマが上昇しマグマ自身が噴出する場合に多量の軽石がつくられる。これは、相当の流動性を保っていたマグマが空中に放出されたときに内部からガスが発生して急激に膨張し、無数の気孔を生じてできる多孔質の岩石片である。これらは、一時に火口からあふれ出て高温のままガスと混じて火山体斜面を急速度で流れ下って比較的粗粒の軽石流堆積物（山麓部）になったものと爆発により空中高く吹き上げられて風に流され遠方ま

で運ばれて比較的細粒の降下軽石層（平地部）を形成したものとがある。いずれも現在では何万年という長年の風化をうけて土壌化し、軟質、多孔質で保水力の強い特殊な土層になっている。Fig-1は栃木県の代表的な軽石層の降下分布範囲とそれらの等厚線を、Fig-2はFig-1中の各地点の土質柱状図を示したものである。鹿沼軽石層は、赤城火山中央火口丘の軽石質火山噴出物がほぼ真東に向って扇形に広がり、鹿島灘におよぶ約9,900km<sup>2</sup>という広い面積に亘って宝木面及び古い地形面上に降下堆積し形成された。これは、東京軽石層（箱根火山、武蔵野ローム）の降下面積には及ばないが、降下土量（6.6 km<sup>3</sup>）では関東平野の降下軽石層の中で最大の規模といわれている。層の厚さはFig-1に示すように1.5m程度で東方にいくにつれて減ずる。層の深さは場所によって異なるが、栃木県下では宝木ローム層中の中程にあって、大体2m前後のところにあることが多い。層の上層は、軽石が上位ローム中にバラついているが、層の下層は比較的平坦な濃茶褐色のロームのクラック帯と明瞭に境している。

## 3. 鹿沼軽石の物理性諸元

### 1) 現状土の状態定数

鹿沼軽石層は、試料採取地点が同一であっても、採取深度や気候、天候等の外部的条件のほかには土自体の成分、構造の不均一性等に対する測定上の取扱い方の相違によって、その状態定数が普通の土壌に比してバラツキやすい傾向にある。土質試験法（土質工学会による）にもとづく数多くの測定結果をまとめると、概して湿潤密度  $\rho_t = 1.03 \sim 1.15 \text{ g/cm}^3$ 、含水比  $w_n = 190 \sim 240\%$ 、土粒子比重  $G_s = 2.64 \sim 2.70$  の範囲の値が得られた。本研究をまとめるにあたって、上記の事柄を考慮して測定試料の量を通常の7、8倍程度に多くとって現状土の状態定数値を測定したが、その結果、鹿沼土の総体的な値としてTable-1に示すようなほぼ一定した値が得られた。

### 2) 粒度組成

鹿沼軽石層は、丸みをおびた直径0.2～2cm程度の風化軽石を主体として骨格が構成されているが、これは降下堆積層であるので、給源火山（赤城火山）からの距離及び方向によって粒度組成は異なり、東方にいくにつれて粒径は細かく均一になる傾向がある。Fig-3は、降下距離の異なった2地点の試料の粒度分析（JIS A 1204 T-1979）した結果を比較したものである。鹿沼試料は、赤城火山からほぼ真東に約52kmの地点の栃木県立鹿沼農業高校（鹿沼市みなみ町）で採取したもの、真岡試料は同じく約73kmの地点の宇都宮大学農学部統合農場（真

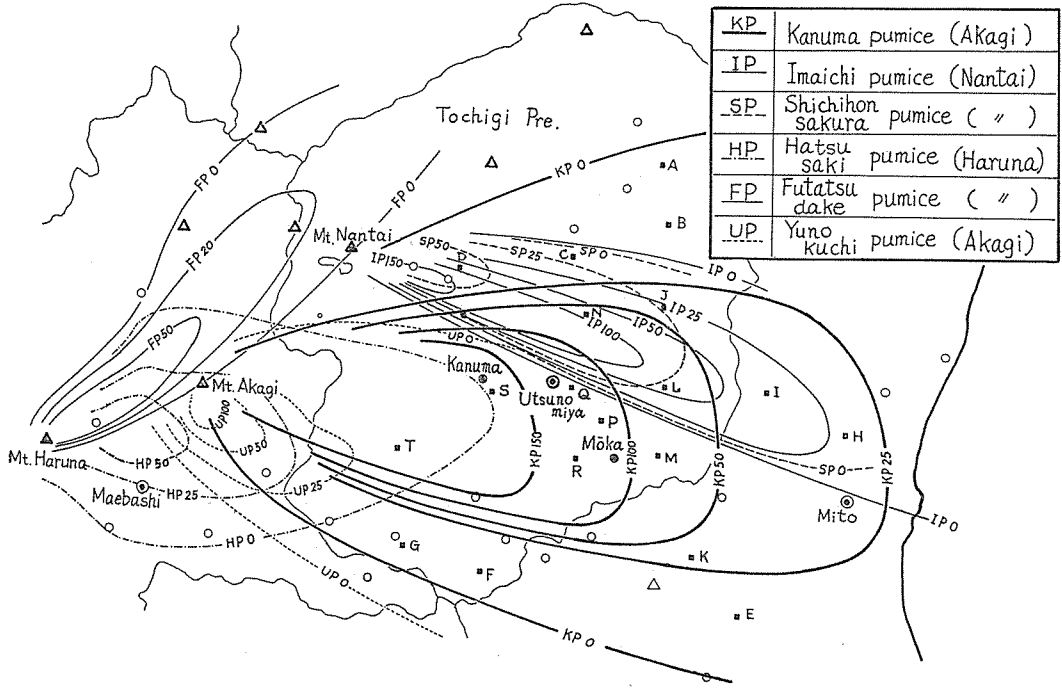


Fig. 1 Distribution chart of the volcanic pumice strata in Tochigi prefecture

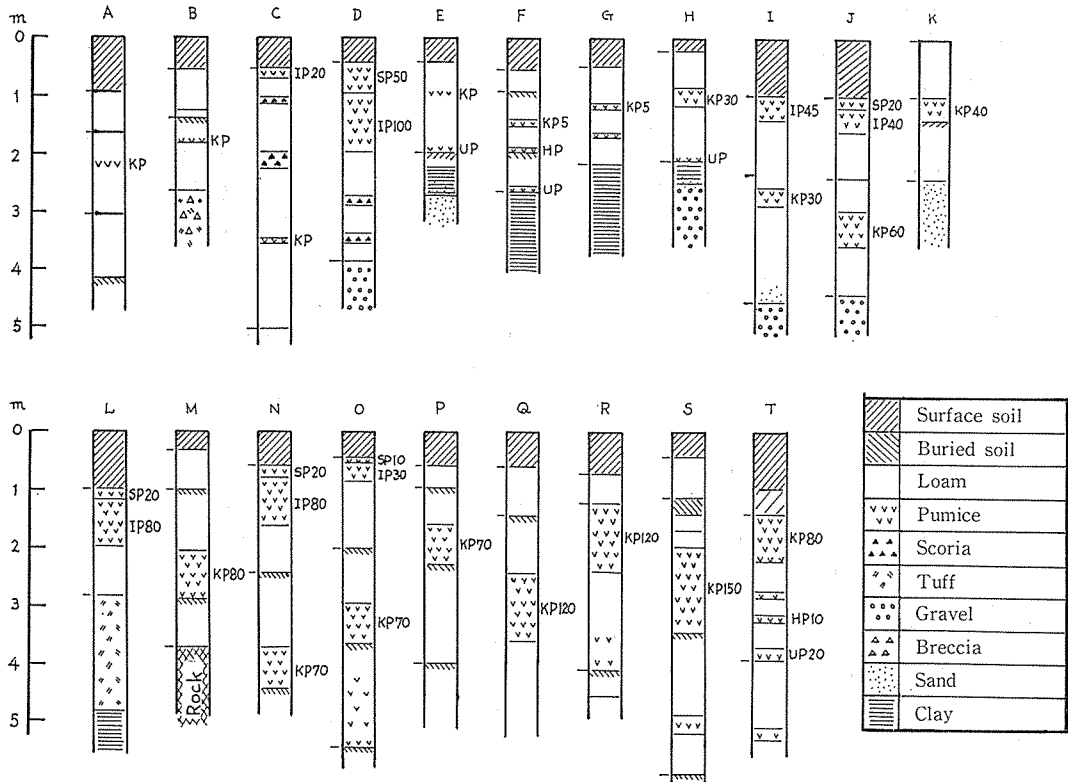


Fig. 2. The Soil profile at the A~T point plotted on the chart Fig. 1

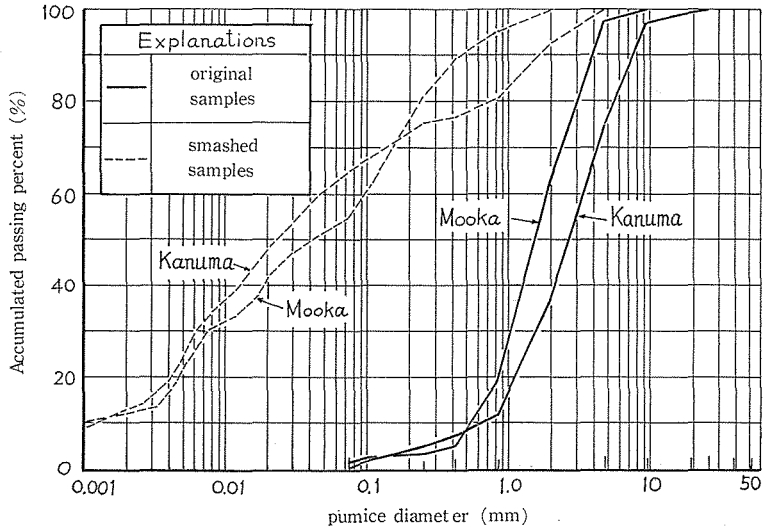


Fig. 3 Grain size accumulation curves of Kanumatsuchi

Table-1 Physical Property of Kanumatsuchi used in the experiment (on natural condition)

Wet density $\rho_t$ (slide caliper method)	1.09 g/cm <sup>3</sup>
Natural moisture content $\omega_n$ (JIS A 1203-1978)	216.2%
Specific gravity $G_s$ (JIS A 1202-1978)	2.67
Void ratio $e_n = \frac{G_s \rho_w}{\rho_t} \left( 1 + \frac{\omega_n}{100} \right) - 1$	6.74
Porosity $n_n = \frac{e_n}{1 + e_n} \times 100$	87.1%
Degree of saturation $S_n = \frac{\omega_n}{e_n} G_s$	85.6%

岡市下籠谷中里)より採取したものである。試料は、現状土を水中で丁寧にときほごしたもの(実線)と全体を乳鉢ですりつぶしたもの(点線)とを用いた。Fig 3によれば、すりつぶせば両試料とも殆んど同一粒度をもつものであるが、現状土についてみれば土を構成する主要な粒径は鹿沼試料では、0.8mm~10mm、真岡試料では0.6mm~5mm程度であり、またそれぞれの均等係数は $U_0=3.2/0.6=5.3$ 、 $U_0=1.9/0.5=3.8$ であって、鹿沼試料に比して真岡試料は粒径は小さく且つ均一粒度に近くなることがわかる。

### 3) 強熱減量

強熱減量は、土の強熱減量試験(JSF T6-1968)によって測定され、それは一般に有機物や結晶水の存在量を示すものである。

有機物の含有は土の物質的、力学的性質あるいは化学的安定処理に影響を与えること、また結晶水含有量は粘土鉱物組成や岩石の風化度等を判定する資料になることが認められている。試験の結果、鹿沼土の強熱減量 $L_t=13.6\%$ を得た。有機物含有量試験(JFS T9-1968)の重クロム酸法による有機物含有量は0.5%であり、一般の土壤に比してマサ土(花コウ岩質岩石の風化残積土)とはほぼ同程度に少ない。両者の差である13.1%は、粘土鉱物の吸着水、結晶水の含有量と考えられる。アロフェンが主要な粘土鉱物になっている関東ロームは、一般土壤に比して吸着水、結晶水が著しく多いことが知られているが、上記の13.1%はこれと同程度の値になっている。因みに、鹿沼土の主要な構成要素である風化軽石の強熱減量は11.4%、またイモゴライト(後述)のそれは特に大きく25.3%の値が得られた。

### 4) アッターベルグ限界値

試料は、空気乾燥した鹿沼土を乳鉢でよくときほごした状態にして標準網フルイ420 $\mu$ を通過させ、これを蒸溜水でペースト状に練り合わせて試験に供した。空気乾燥状態の含水比は25%程度である。アッターベルグ限界試験の結果、通常よく問題にされる空気乾燥の程度、試験中湿った状態での放置時間あるいは練り合わせ時間等の試験結果に与える影響もさることながら、鹿沼土ではガラス板上でペースト状試料のすりつぶし度合の相違が限界値に大きく影響するようであり、鹿沼土のアッターベルグ限界値としてある一定の値を示すことは非常に難しいようである。

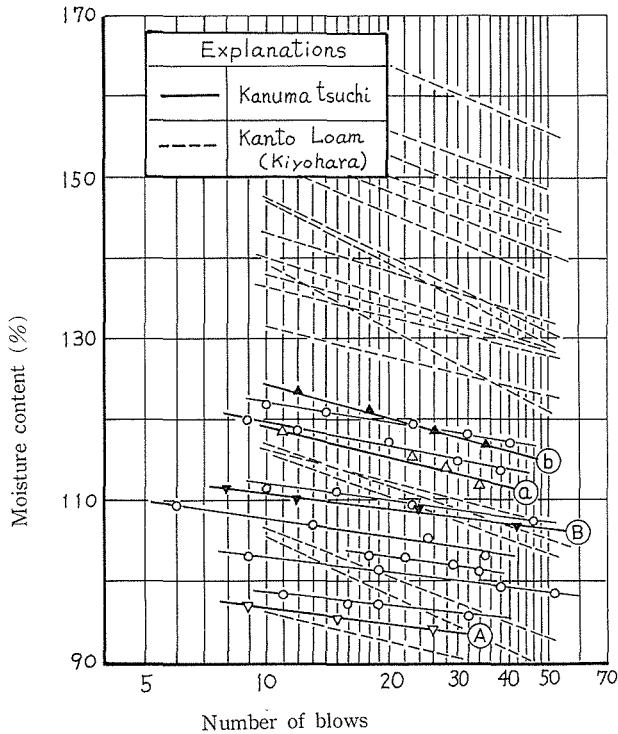


Fig 4 Flow curves of Kamumatsuchi

Fig 4 は液性限界試験による代表的な流動曲線を示したものである。図によれば、流動指数は大体6.0~8.5程度であり、これは関東ロームのそれ1/2~1/3の程度の小さい値であって、含水量の変動が土の流動に敏感に反応する傾向をもつ。液性限界 $\omega_L$ は95%~120%の大きな範囲にバラつく結果になった。①は標準網フルイ420 $\mu$ 通過のものを力を加えずに練り合わせたもの、②はそれを意識的にすりつぶしたものであり、また③はすりつぶし1時間、④はすりつぶし2時間のものである。この結果をみると、ペースト状試料を十分にすりつぶすほど高い液性限界を示すようであるので、すりつぶしの度合を指標化する必要があると思われる。

塑性限界及び収縮限界は、十数個の試料についてそれぞれ $\omega_P=80.7\% \sim 88.7\%$ 及び $\omega_S=70.2\% \sim 81.2\%$ のように求められ、いずれもすりつぶし1時間のものは低く、すりつぶし2時間のものは高い値となった。

#### 4. 鹿沼土の構成

軽石の噴出時に火口周辺の小礫片をまきこみ、またこれらが降下堆積した後、有機物の混入や長年の風化作用、水和作用等による自壊作用を営んで新しい化合物を

生じるなど、鹿沼土の構成要素は複雑化している。鹿沼土の現状土は概して、比較的大粒径の風化軽石が積み重なって主体をなし、その大間げきを埋めるかたちで小粒径の軽石粒及び岩片が入り込み、さらに挟まった間げきあるいは風化軽石のまわりにイモゴライトが析出している。全体的に多孔質な二重構造をなしている。風化軽石は、多孔質で多量の水分を含み、簡単につぶれて粘土化する。軽石粒は1 mm程度の黄白色の丸味のある粟粒状の石粒で比較的簡単につぶれて細砂状になる。イモゴライト (Imogolite) は、やや透明な膠状皮膜物質でアロフェンから結晶性粘土鉱物への移行の中間段階にある微細鉱物の集合体といわれている。岩片は数ミリ以下の硬い礫片で、黒色の磁鉄鉱を多く含む。以上のように、鹿沼土を注意深くときほごして骨格の構成物質を大別すると、風化軽石・軽石粒・イモゴライト及び岩片の4要素に分けられるようである (Photo 1~Photo 4)。現状土を直径6 cm、高さ4 cmの試料採取環で抜き取り、重量を測定してからそれを速やかにときほごして4要素に分け、各要素の含水比と炉乾燥質量 $m_s$ を測定する。さらにこの結果から全炉乾燥質量に対する各要素の炉乾燥質量比 $\alpha$ を算定するとともに、各要素ごとに土粒子比重試験 (JIS A 1202-1978) を行なって要素の真比重を測定した。この結果はTable 2のようである。このときの試料の質量 $m=123.43$  g、体積 $V=113.10$  cm<sup>3</sup>、密度 $\rho_t=1.09$  g/cm<sup>3</sup>である。

#### 5. 鹿沼土の状態定数の分析

鹿沼土の現状土の包括的な状態定数をTable 1に示したが、これは各要素の内部と外部とにおける間げき量及び含水量を一括して考えて全体の平均的な値として求めたものである。しかし、前述したように、各要素ごとに間げきとそれに含まれる水分量とを持ち、さらにそれらの集合体として形づくられる間げきとそこに存在する間げき水がある。いわゆる二重構造における間げき量及び含水量は、土の物理的、力学的取扱い上、質的に同一視し難く、また鹿沼土の構造決定上からしても各要素の内部と外部とに分けて状態量を表示する必要がある。

##### 1) 算定式

鹿沼土の全炉乾燥質量に対して風化軽石、軽石粒の内部に吸収されている水分質量の比率を $\omega_1'$ 、 $\omega_2'$ (%)とす



Photo 1

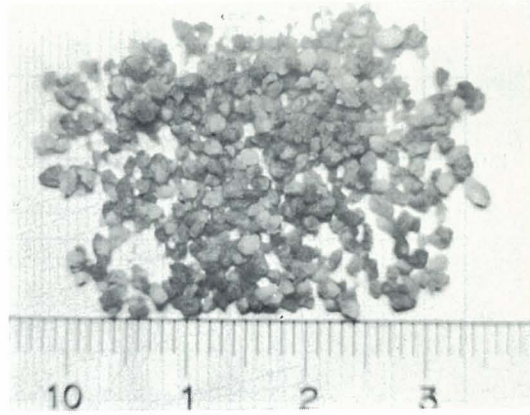


Photo 2

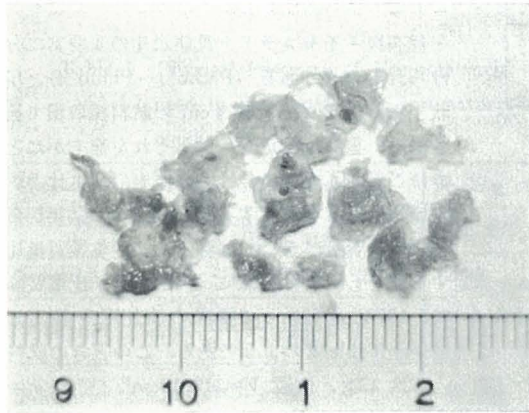


Photo 3

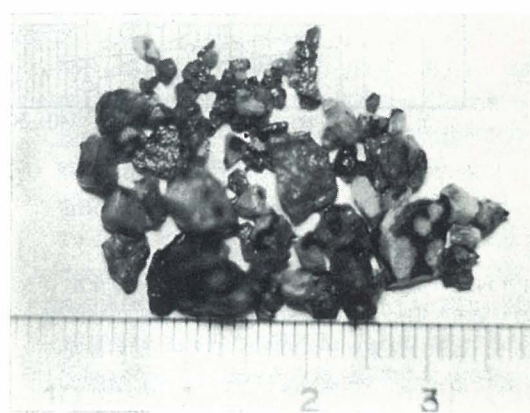


Photo 4

Table-2 Physical Property of each element of Kanumatsuchi

Item	Weathered pumice	Small grained pumice	Imcgolite	Volcanic gravel	Total weight
Natural moisture content of each element (%)	$\omega_1=254.9$	$\omega_2=97.5$	$\omega_3=306.3$	$\omega_4=10.3$	—
Dry weight of each element (g)	$m_{s1}=26.616$	$m_{s2}=4.116$	$m_{s3}=1.238$	$m_{s4}=4.884$	$\sum m_s=36.814$
Dry weight ratio of each element	$\alpha_1=0.273$	$\alpha_2=0.112$	$\alpha_3=0.034$	$\alpha_4=0.131$	$\sum \alpha=1.0$
Specific gravity of each element	$G_1=2.64$	$G_2=2.58$	$G_3=2.70$	$G_3=2.83$	—

ると、これらは Table 1, 2 に示した記号を用いて、次のように表わされる。

$$\omega'_1 = \alpha_1 \omega_1 \quad \omega'_2 = \alpha_2 \omega_2 \dots \dots \dots (1)$$

また、軽石粒子の外まわりに存在する水分質量の全伊乾燥質量に対する比率を  $\omega''$  (%) とすれば

$$\omega'' = \frac{(m - \sum_{i=1}^4 m_{si}) - \omega_1 m_{s1} - \omega_2 m_{s2}}{\sum_{i=1}^4 m_{si}} = \omega_n - (\omega'_1 + \omega'_2) \dots \dots \dots (2)$$

同様に、風化軽石、軽石粒の内部の間げき量の、全要素実質部の体積に対する比率を  $e'_1, e'_2$  とし、軽石粒子の外まわりの間げき量の比率を  $e''$  とすれば

$$\left. \begin{aligned} e'_1 &= \frac{e_1 V_{s1}}{\sum_{i=1}^4 V_{si}} = G_s \left( \frac{\alpha_1}{G_1} \right) e_1 \\ e'_2 &= \frac{e_2 V_{s2}}{\sum_{i=1}^4 V_{si}} = G_s \left( \frac{\alpha_2}{G_2} \right) e_2 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3)$$

$$e'' = \frac{(V - \sum_{i=1}^4 V_{si}) - e_1 V_{s1} - e_2 V_{s2}}{\sum_{i=1}^4 V_{si}} = e_n - (e'_1 + e'_2) \dots \dots \dots (4)$$

間げき率に関しては

$$\left. \begin{aligned} n'_1 &= \frac{e_1 V_{s1}}{V} = \frac{e_1 V_{s1}}{(1 + e_n) \sum_{i=1}^4 V_{si}} = \frac{e_1 \frac{\alpha_1}{G_1} G_s}{1 + e_n} = \frac{e'_1}{1 + e_n} \\ n'_2 &= \frac{e_2'}{1 + e_n} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (5)$$

$$n'' = \frac{(V - \sum_{i=1}^4 V_{si}) - e_1 V_{s1} - e_2 V_{s2}}{V} = n_n - (n'_1 + n'_2) \dots \dots \dots (6)$$

また、飽和度に関して、風化軽石及び軽石粒の飽和度を  $S_1$  及び  $S_2$  とし、軽石粒子の外まわりの飽和度を  $S_0$  とすれば

$$S_1 = \frac{\omega_1 G_1}{e_1} \quad S_2 = \frac{\omega_2 G_2}{e_2} \dots \dots \dots (7)$$

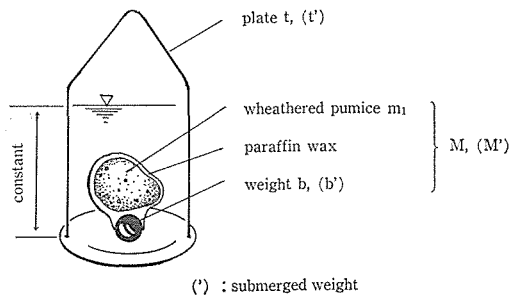


Fig 5 Figure for explanation of the sample Weight M

$$S_0 = \frac{(m - \sum_{i=1}^4 m_{si}) - \omega_1 m_{s1} - \omega_2 m_{s2}}{\left\{ (V - \sum_{i=1}^4 V_{si}) - e_1 V_{s1} - e_2 V_{s2} \right\} \rho_w} = \frac{\omega'' \sum_{i=1}^4 m_{si}}{e'' \sum_{i=1}^4 V_{si} \rho_w} = \frac{\omega''}{e''} G_s \dots \dots \dots (8)$$

以上のように、一般に用いられている土の状態量の含水比  $\omega_n$ , 間げき比  $e_n$  及び間げき率  $n_n$  は、軽石粒子の内部と外部の状態量に分けて表わすことができる。

2) 軽石粒子の間げき比の算定

(3)・(7)式中の風化軽石、軽石粒の間げき比  $e_1, e_2$  を求めるために、まずこれらの密度を測定する。

a) 風化軽石の密度測定

風化軽石は多孔質で円磨された不定形であるので、この測定はパラフィン塗布法によったが、粒子自体が極めて軽量なので風化軽石の表面を薄くパラフィンで覆った後、それに重りをつけて一体となった塊を作成して試験に供した。このように作成した塊の空中質量を  $M$ , これの水中質量を  $M'$  とし、水中質量測定時に用いる受皿の空中質量を  $t$ , それの一部を水中につるしたときの質量を  $t'$  とすれば、風化軽石の密度  $\rho_1$  は(9)式で求められる。

$$\rho_1 = \frac{m_1}{V_1} \quad V_1 = \frac{(M+t) - (M'+t') - K(b+t-b'-t')}{\rho_{wT}} - \frac{M-b-m_1}{\rho_p} \dots \dots \dots (9)$$

ここに

- $m_1, V_1$ : 風化軽石 1 個の質量と体積
- $b, b'$ : 重りの空中質量(=2.0347g)と水中質量
- $t, t'$ : 受皿の空中質量(=1.6300g)と水中質量
- $b'+t'$ : 水温16°Cにて測定した重りと受皿との水中質量 (=3.2213g)
- $\rho_{wT}$ :  $(M'+t')$  測定時の水温  $T^\circ\text{C}$  の水の密度
- $K$ : 補正係数 (=  $\rho_{wT}/\rho_{w16^\circ\text{C}}$ )
- $\rho_p$ : パラフィンの密度

$(b+t-b'-t')$ :  $(b+t)$  の空中と水中との質量差(=0.4574 g(16°C))

(9)式中のパラフィンの密度  $\rho_p$  は次のように測定した。パラフィンは、一般に融解点の高いものの方が取扱いに都合がよく、 $MP. 60 \sim 62^\circ\text{C}$  のものを使用した。試料は、重りとパラフィンのみの塊とする。(9)式において、 $m_1=0, V_1=0$  とすると、 $\rho_p$  は(10)式のように表わされる。



Table 3. Calculated value of paraffin wax density  $\rho_p$ 

(M-b) (g)	(M+t) (g)	(M'+t') (g)	$\rho_{\omega T}$ (g/cm <sup>3</sup> )	K	$\rho_p$ (g/cm <sup>3</sup> )
0.7056	4.3843	3.1600	0.99880 (17°C)	0.99983	0.9189
0.9876	4.6663	3.1374	0.99880 (17°C)	0.99983	0.9205
0.4787	4.1574	3.1805	0.99897 (16°C)	1.000	0.9205
0.8201	4.4988	3.1504	0.99897 (16°C)	1.000	0.9195
0.6266	4.3053	3.1665	0.99913 (15°C)	1.00016	0.9189
0.8810	4.5597	3.1442	0.99913 (15°C)	1.00016	0.9183

Table-4. Calculated values of Density  $\rho$ , Void ratio  $e$  and Degree of saturation  $S$ 

	sample condition	m(g)	M-b (g)	M+t(g)	M'+t' (g)	$\rho_{\omega T}$ (g/cm <sup>3</sup> )	K	V (cm <sup>3</sup> )	$\rho_1$ (g/cm <sup>3</sup> )	$e_1$	$S_1$ (%)
Weathered pumice stone	oven dry (110°C) ( $\omega_1 = 0\%$ )	0.2245	1.0098	4.6885	2.6389	0.99880 (17°C)	0.99983	0.7397	0.304	7.68	0
		0.2648	0.6954	4.3741	2.5856	0.99844 (19°C)	0.99947	0.8649	0.306	7.63	0
	natural ( $\omega_1 = 254.9\%$ )	0.8157	1.1311	4.8098	3.2724	0.99913 (15°C)	1.00016	0.7377	1.106	7.47	90.1
		0.6765	1.2438	4.9225	3.2282	0.99897 (16°C)	1	0.6209	1.090	7.60	88.5
	water saturated ( $\omega_1 = 291.3\%$ )	1.1432	1.5030	5.1817	3.3779	0.99880 (17°C)	0.99983	0.9566	1.195	7.64	100.7
0.8374		1.0420	4.7207	3.3468	0.99897 (16°C)	1	0.6948	1.205	7.57	101.6	
Small grained pumice	sample condition	$m$ (g)	$M_a - M_c$ (g)	$M_b$ (g)	$M_d$ (g)	$\rho_{\omega T}$ (g/cm <sup>3</sup> )	K	V (cm <sup>3</sup> )	$\rho_2$ (g/cm <sup>3</sup> )	$e_2$	$S_2$ (%)
		natural ( $\omega_2 = 97.5\%$ )	10.394 11.768	100.670 (24.1°C) 107.539 (21.2°C)	143.352 (20.7°C) 143.786 (21.1°C)	50.535	0.998086 (20.7°C) 0.998000 (21.1°C)	1.00079 1.00002	7.9477 8.8769	1.308 1.326	2.90 2.84

$$\rho_p = \frac{M-b}{(M+t) - (M'+t') - K(b+t-b'-t')} \rho_{\omega T} \dots (10)$$

Table 3 は(10)式による  $\rho_p$  の計算結果を示したものであり、これらを平均して  $\rho_p = 0.919 \text{ g/cm}^3$  とした。

#### b) 軽石粒の密度測定

軽石粒は細かな石粒であるので、ある程度の量をまとめて試料としてピクノメーターを用いた体積置換法により測定した。試料体積を静かに水置換して、(11)式でその量 ( $V_2$ ) を求め、軽石粒の平均密度  $\rho_2$  を算定する。

$$\left. \begin{aligned} \rho_2 &= \frac{m_2}{V_2} \\ V_2 &= \frac{K(M_n - M_c) - (M_b - M_d)}{\rho_{\omega T}} \end{aligned} \right\} \dots (11)$$

ここに、

$m_2$ ,  $V_2$ : 軽石粒試料の質量と体積

$M_a$ : 蒸溜水を満たしたピクノメーターの質量  
( $T'$ °C)

$M_c$ : ピクノメーターの質量

$M_b$ : 蒸溜水を満たしたピクノメーター中に試料を静かに入れたときのピクノメーターの質量  
( $T$ °C)

$M_d$ : 試料とピクノメーターとの質量

$\rho_{\omega T}$ :  $T$ °C の水の密度

$K$ : 補正係数 ( $\rho_{\omega T} / \rho_{\omega T'}$ )

c) 測定結果

(9)式及び(11)式によって密度を求め、さらにそれらをもとにして、間げき比、飽和度を次式によって算定した。

$$e_i = \{G_i \rho_w (1 + \omega_i / 100) / \rho_i\} - 1$$

$$S_i = G_i \omega_i / e_i \quad (\%)$$

その結果の代表的数値を Table 4 に示す。その結果によれば、風化軽石の間げき比は (7.5~7.9)、平均値は  $e_1 = 7.65$  であり、軽石粒の間げき比は (2.8~2.9)、平均値は  $e_2 = 2.87$  であって、両者に質的な違いがあることがわかる。また飽和度は、現状土では両者いずれも (80~90%) 程度である。

### 3) 鹿沼土の状態定数の計算

Table 1 の総体的な状態定数値と Table 2, 4 の各要素の値をもとにして、(1)式~(8)式によって状態定数を算出すると次のようである。

$$\omega_n = 216.2\% \quad \omega_1' = \alpha_1 \omega_1 = 0.723 \times 254.9 = 184.3\%$$

$$\omega_2' = \alpha_2 \omega_2 = 0.112 \times 97.5 = 10.9\%$$

$$\omega'' = \omega_n - (\omega_1' + \omega_2') = 216.2 - 195.2 = 21.0\%$$

$$e_n = 6.74$$

$$e_1' = G_s \left( \frac{\alpha_1}{G_1} \right) e_1 = 2.67 \times \frac{0.723}{2.64} \times 7.65 = 5.59$$

$$e_2' = G_s \left( \frac{\alpha_2}{G_2} \right) e_2 = 2.67 \times \frac{0.112}{2.58} \times 2.87 = 0.33$$

$$e'' = e_n - (e_1' + e_2') = 6.74 - 5.92 = 0.82$$

$$n_n = 87.1\%$$

$$n_1' = \frac{e_1'}{1 + e_n} \times 100 = \frac{5.59}{1 + 6.74} \times 100 = 72.2\%$$

$$n_2' = \frac{e_2'}{1 + e_n} \times 100 = \frac{0.33}{1 + 6.74} \times 100 = 4.3\%$$

$$n'' = n_n - (n_1' + n_2') = 87.1 - 76.5 = 10.6\%$$

$$S_n = 85.6\%$$

$$S_1 = \frac{\omega_1 G_1}{e_1} = \frac{254.9 \times 2.64}{7.65} = 88.0\%$$

$$S_2 = \frac{\omega_2 G_2}{e_2} = \frac{97.5 \times 2.58}{2.87} = 87.6\%$$

$$S_0 = \frac{\omega'' G_s}{e''} = \frac{21.0}{0.82} \times 2.67 = 68.4\%$$

## 6. 鹿沼土の三相分布

前節5.の結果を用いて、現状の鹿沼土の三相分布を求めると次のようである。まず、炉乾燥重量1.0 ( $\sum_{i=1}^4 \alpha_i = 1.0$ ) とするときの各要素及び大間げき部分の体積を算出すると、

$$\text{風化軽石部分} \quad 2.370 \quad (81.696\%)$$

$$\text{実質部} \quad V_{s1} = \alpha_1 / G_1 \rho_w$$

$$= 0.723 / 2.64 \times 1.0 = 0.274 \quad (9.445\%)$$

$$\text{水分} \quad V_{\omega 1} = \alpha_1 \omega_1 / 100 \rho_w$$

$$= 0.723 \times 254.9 / 100 \times 1.0 = 1.843 \quad (63.520\%)$$

$$\text{ガス} \quad V_{a1} = e_1 V_{s1} - V_{\omega 1}$$

$$= 7.65 \times 0.274 - 1.843 = 0.253 \quad (8.721\%)$$

$$\text{軽石粒部分} \quad 0.166 \quad (5.722\%)$$

$$\text{実質部} \quad V_{s2} = \alpha_2 / G_2 \rho_w = 0.112 / 2.58 \times 1.0$$

$$= 0.043 \quad (1.482\%)$$

$$\text{水分} \quad V_{\omega 2} = \alpha_2 \omega_2 / 100 \rho_w$$

$$= 0.112 \times 97.5 / 100 \times 1.0 = 0.109 \quad (3.757\%)$$

$$\text{ガス} \quad V_{a2} = e_2 V_{s2} - V_{\omega 2}$$

$$= 2.87 \times 0.043 - 0.109 = 0.014 \quad (0.483\%)$$

$$\text{イモゴライト部分} \quad 0.117 \quad (4.033\%)$$

$$\text{実質部} \quad V_{s3} = \alpha_3 / G_3 \rho_w$$

$$= 0.034 / 2.70 \times 1.0 = 0.013 \quad (0.448\%)$$

$$\text{水分} \quad V_{\omega 3} = \alpha_3 \omega_3 / 100 \rho_w$$

$$= 0.034 \times 305.3 / 100 \times 1.0 = 0.104 \quad (3.585\%)$$

$$\text{岩片部分} \quad 0.059 \quad (2.034\%)$$

$$\text{実質部} \quad V_{s4} = \alpha_4 / G_4 \rho_w$$

$$= 0.131 / 2.83 \times 1.0 = 0.046 \quad (1.586\%)$$

$$\text{水分} \quad V_{\omega 4} = \alpha_4 \omega_4 / 100 \rho_w$$

$$= 0.131 \times 10.3 / 100 \times 1.0 = 0.013 \quad (0.448\%)$$

$$\text{大間げき部分} \quad 0.189 \quad (6.515\%)$$

$$\text{水分} \quad V_{\omega 5} = \omega_n \sum_{i=1}^4 \alpha_i / 100 \rho_w - \sum_{i=1}^4 V_{\omega i}$$

$$= 216.2 \times 1.0 / 100 \times 1.0 - 2.069 = 0.093 \quad (3.206\%)$$

$$\text{ガス} \quad V_{a5} = (1 + \omega_n / 100) \sum_{i=1}^4 \alpha_i / \rho_i$$

$$- \left( \sum_{i=1}^4 V_{a i} + \sum_{i=1}^5 V_{\omega i} + \sum_{i=1}^4 V_{a i} \right)$$

$$= (1 + 216.2 / 100) \times 1.0 / 1.09 - (0.376 + 2.162 + 0.267)$$

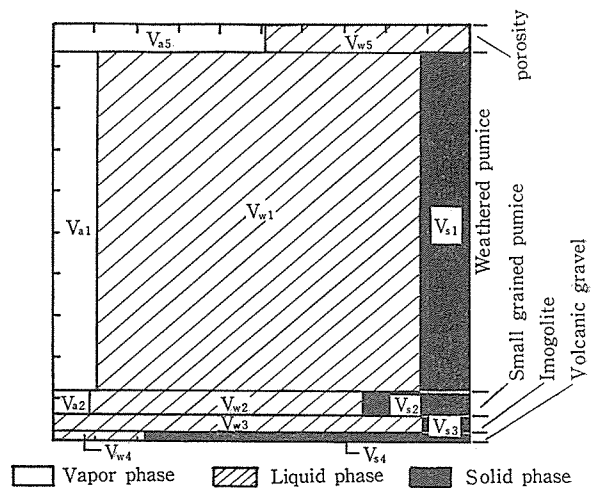


Fig 6 Three phases of Kanumatsuchi

$$=2.901-2.805=0.096 \quad (3.309\%)$$

次に、この場合の鹿沼土の体積  $(1+\omega_n/100) \sum_{i=1}^4 \alpha_i/\rho_i$   
 $=2.901$  で上記の各数値を除きさらにそれらに100を乗  
 じて上記の各数値を鹿沼土全体の体積に対する百分率で  
 表わせば、上記の( )内に示した値になる。

以上の結果から、縦軸に各部分の%をとり、横軸に実  
 質部、水分及びガスの割合を表わせば、鹿沼土の体積区  
 分は Fig 6 のように表わすことができる。

## 7. 摘 要

鹿沼軽石層は、有機物含有量が非常に少なく、無機質  
 の種々の構成要素からなり、その特殊な土性とそれらの  
 集合体としての二重構造を呈しているので、土質工學上  
 の取扱いが難しい。現状土の状態定数はバラツキやすく  
 粒度組成は場所によって漸次変化するので、総体的な土  
 性の表現がしにくい。さらに乱した試料を用いる試験の  
 うち特にコンシステンシー試験では、数パーセントの含  
 水量の変化が土のやわらかさの程度に敏感に反応するこ  
 と、試料のつぶし程度によって色、粘性等が微妙に変わ  
 ることなどが観察され、それに伴って一般土壌に比して  
 試験値に大きなバラツキが生じ易いことが指摘できる。

本稿は、上記の特殊な土性に対して主として状態定数  
 の分析を試み、その表示法を示した。その結果、自然状  
 態において鹿沼土中の風化軽石には、

$$(\omega_1'/\omega_n) \times 100 = 85.2\%$$

$$(e_1'/e_n) \times 100 = (n_1'/n_n) \times 100 = 82.9\%$$

のように、全体の水分量及び間げき量に対して約85%の

水分量及び約83%の間げき量があり、また風化軽石の飽  
 和度は88%に及ぶことが明らかになった。なお、風化軽  
 石は水浸によって容易に飽和状態になること (Table 4  
 参照)、軽石粒子の外まわりの飽和度は現状土において、  
 $S_0=68.4\%$ を示すにも拘らず、水分量は全体の9.7%  
 $(=\omega_1'/\omega_n) \times 100$ に過ぎないことがわかった。

本稿をまとめるに当たって、多量の鹿沼土の採取に御協  
 力頂いた鹿沼農業高校農場の教職員の皆様に厚く御礼申  
 上げます。

## 参 考 文 献

- 1) 土質工学会編 (1980) : 土質試験法, 土質工学会.
- 2) 関東ローム研究グループ (1965) : 関東ローム——  
その起原と性状——, 築地書館.
- 3) 阿久津純 (1957) : 宇都宮付近の関東ローム (火山  
灰層). 地球科学 33 1~11
- 4) 経済企画庁 (1960) : 地形・表層地質・土壌調査  
——宇都宮, 国土調査
- 5) 栃木県企画部 (1977) : 栃木県地質説明書 36
- 6) 鈴木敬, 富田平四郎, 広瀬有司, 池尻勉 (1982) :  
鹿沼軽石層の状態定数の取り扱いについての基礎的  
考察, 農業土木学会大会講演要旨集, 農業土木学会
- 7) 木村敏雄, 竹内均ほか2名 (1976) : 地学辞典(Ⅲ),  
古今書院.
- 8) 日本粘土学会編 (1967) : 粘土ハンドブック, 技報  
堂.