

報 文

地域、深さによる鹿沼土の物理的構成と
各種物理性の差異について

富田 平四郎*¹・中野 政詩*²・鈴木 敬*¹

Variation of the physical properties
of Kanumatsuchi for depths and regions

Heishiro Tomita*¹・Masashi Nakano*²・Takashi Suzuki*¹

*¹: Faculty of Agriculture, Utunomiya University

*²: Faculty of Agriculture, Tokyo University

Summary

It is recently found that Kanumatsuchi is problem soil due to increment of earthwork with the advance of agricultural use. We investigated the properties of Kanuma pumice stratum and the physical organization of Kanumatsuchi from a view point of agricultural use.

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

Taking Kanumatsuchi to pieces, they are classified into four components: (1)Weathered pumice, (2)Small grained pumice, (3)Imogolite, (4)Volcanic gravel. After natural moisture ratio ω_i , dry weight ratio α_i and specific gravity G_i of each component are determined, moisture ratio (ω_i'), void ratio (e_i') and porosity (n_i') for the whole Kanumatsuchi are calculated by the following equations.

$$\begin{aligned} \omega_i' &= \alpha_i \omega_i & \omega'' &= \omega_n - \sum \omega_i' \\ e_i' &= G_s (\alpha_i / G_i) e_i & e'' &= e_n - \sum e_i' \\ n_i' &= e_i' / (1 + e_n) & n'' &= n_n - \sum n_i' \end{aligned}$$

Where the mark(') and('') represents respectively inside value and outside one of pumice grains (Weathered pumice and small grained pumice) for the whole Kanumatsuchi.

Degree of saturation of pumice grain S_i and one among pumice grains S_o are calculated by the following equations.

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

As the result, the following facts become clear.

- (1) Value of solid phase, liquid phase and gaseous phase are respectively 11.8~13.5%, 61.4~74.5%, 12.5~26.5%.
- (2) On natural condition, quantity of moisture (ω_i' / ω_n) and quantity of void (n_i' / n_n) in weathered pumice is respectively 85.3~95.9% and 71.9~90.1% to the whole quantity.
- (3) Degree of saturation in weathered pumice grain (S_i) is respectively high value (80.6~97.9%).
- (4) Degree of saturation among pumice grains is 16.6~60.5% and quantity of moisture among pumice grains to the whole quantity is relatively low value (2.2~9.7%)

Key words: Kanumatsuchi, Weathered pumice, Imogolite, Three phases of soil.

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn, 69, 11-21, 1994)

*¹: 宇都宮大学農学部

*²: 東京大学農学部

キーワード: 鹿沼土、風化軽石、イモゴライト、土壌の三相

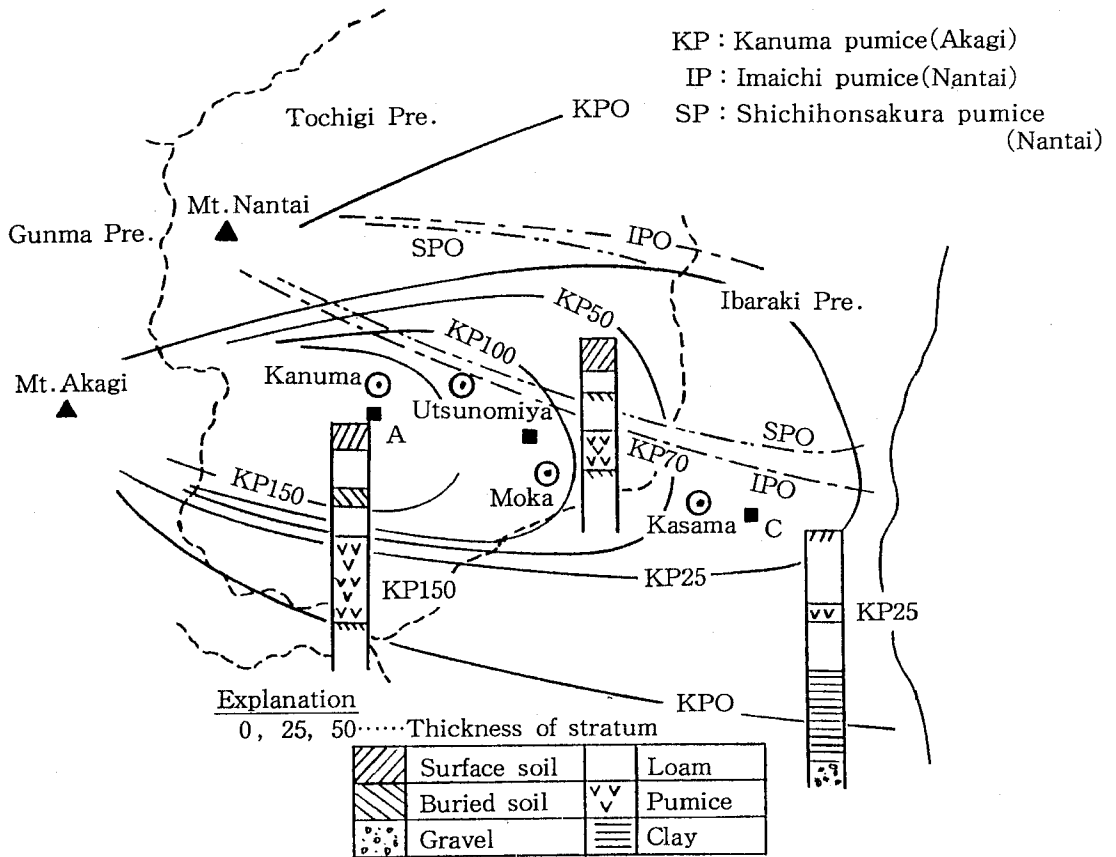


Fig. 1 栃木県における軽石層の分布
 Distribution chart of the volcanic pumice strata in Tochigi prefecture

Table 1 関東地方の軽石層の体積(*)
 Volume of pumice strata in Kanto district

軽石層の名称	火山名	体積(Km³)
鹿沼軽石層	赤城山	6.6
東京軽石層	箱根火山	2.4
今市軽石層	男体山	1.2
天明軽石層	浅間山	0.1

I. はじめに

鹿沼軽石層は、約3万年前の赤城山中央火口丘(群馬県)の噴火による降下軽石層で、栃木県鹿沼市を中心とする扇型に、茨城県の太平洋岸までの面積約9,900km²に分布している (Fig-1¹⁾)。

Table-1²⁾に関東地方の代表的軽石層の堆積量を示したが、鹿沼軽石層の降下土量は関東地方で最大規模の軽石層である。層の厚さは、鹿沼市付近で約1.5m(最

大1.7m)で粒径も最大20~30mmであるが、東へ距離を隔てるに従い層厚を減じ、かつ粒径も小さくなる。茨城県笠間市付近(赤城山からの距離約90km)では、層厚が約20cmで粒径も均一な粟粒大となる。つまり地域的、堆積構造的に、その物理性は異なっているものと予想できる。

第四紀の火山活動に由来する北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、従来から種々の分野で多くの調査研究がなされている。しかし、地質学的層序識別上の基準となる軽石層については、土壤物理的に大変に興味ある土層であるにもかかわらず、それほど研究が進んでいるとは思えない現状である。また、これまで農地工学的に問題の対象となった場合でも、その性状が明らかでないため土工上の不適切土として捨土され、省みられることがなかった。

Table 2 鹿沼土の物理的性質
Physical properties of Kanumatsuchi

項 目	鹿 沼 地 区			真 岡 地 区		笠 間 地 区	関 東 ローム	
	上 層	中 層	下 層	上 層	下 層			
採取深さ (m)	0.390 0.765	0.765 1.290	1.290 1.845	0.760 1.135	1.135 1.480	0.500 0.700		
自然含水比 $\omega_n(\%)$	213.2	191.5	220.0	175.6	194.0	167.8	109.7	
湿潤密度 $\rho_w(\text{g}/\text{cm}^3)$	1.062	1.051	1.006	1.039	0.937	0.994	1.301	
乾燥密度 $\rho_d(\text{g}/\text{cm}^3)$	0.339	0.361	0.315	0.378	0.318	0.367	0.620	
比 重 G_s	2.674	2.650	2.653	2.718	2.701	2.776	2.794	
間 隙 比 e_n	6.902	6.362	7.442	6.212	7.488	6.730	3.507	
間 隙 率 $n_n(\%)$	87.3	86.4	88.15	86.13	88.21	87.06	77.81	
飽 和 度 $S_r(\%)$	82.7	79.8	78.4	76.7	70.0	69.2	87.4	
三 相 比	固 相 (%)	12.70	13.60	11.85	13.83	11.81	13.29	22.19
	液 相 (%)	72.37	68.98	69.12	66.10	61.73	62.50	68.07
	気 相 (%)	14.93	17.42	19.03	20.07	26.46	24.21	9.74
液性限界 $\omega_l(\%)$	95~120	82.0	87.0	99.0	80.0	118.4	130.0	
塑性限界 $\omega_p(\%)$	85	67.0	70.0	79.0	68.0	89.8	88.0	

近年，軽石層の農業的利用が進み土工の大規模化，迅速化が進む中で，捨土場所の確保の難しさ，工費節約の観点から，土質改良を含めた原土の現場的取扱を地域的問題の対象として，地域毎に対策を立てる方向で対処することが良いと考えるようになった。ここでは，土工上あるいは農業的利用上の指針を得ることを目的として，鹿沼軽石層の性状の把握と鹿沼土の物理的・土質的定数の測定を行った。さらに，この結果に基づいた鹿沼土の構成及び物理定数の分析も行った。

II. 実験試料の概要

1. 試料採取地及び採取方法

試料は，噴出源からの距離による物理性の違いを考慮して，栃木県内の2地点および茨城県内1地点から採取した。栃木県の採取点は，赤城山から約50kmの距離にある鹿沼市南部の農業高校敷地内と，同じく約70kmの距離にある真岡市北部の宇都宮大学附属農場内である。茨城県の採取点は，赤城山から約90kmの距離にある笠間市内である。試料の採取は，軽石層の深さによる違いを考慮して鹿沼地区を上，中，下の3層に，真岡地区を上，下の2層に分けて不攪乱及び攪乱の2条件で採取した。以降，試料は鹿沼上層(K上)，鹿沼中層(K中)，鹿沼下層(K下)，真岡上層(M上)，真岡下層(M下)，笠間(KA)と呼ぶことにする。なお，採取深度はTable-2に示した。

2. 採取地点の地層の概観 (Fig-2 参照)

(1) 鹿沼地区

採取地は，表土とその直下のローム層を合わせて約2m剥土しているため，現状の表土の厚さは約40~50cmである。表土の直下には厚さ7~10cmの硬い砂質粘土

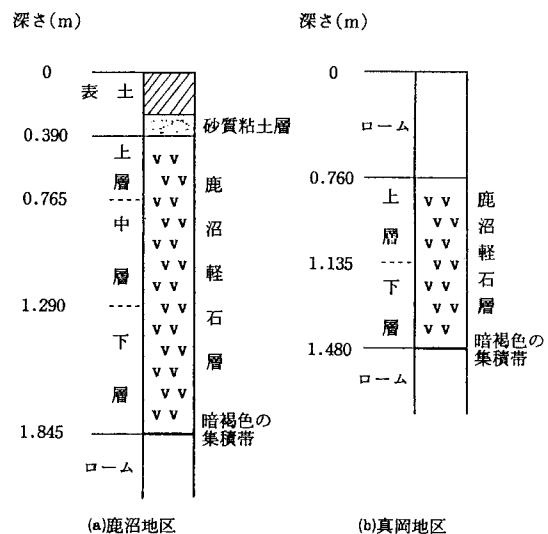


Fig. 2 試料採取地点の土層断面
Soil Profile of sampling spot

層があり，その下部に約1.5m厚さの鹿沼軽石層がある。

軽石層の上部は，茶褐色で軟質な風化軽石を主体に構成されており，風化軽石間にはイモゴライトが他層に比して多く含まれている。土層は全体的に軟らか目であるが，固結度が高く安定している。中層部は，上層に比べ少し白味があった比較的硬い風化軽石を主体に構成されている。他の層に比べて硬く支持力はあるがやや脆い。なお，イモゴライトの量はかなり少ない。下層部はイモゴライトが全く無く，風化軽石は上層部に比べ硬いが固結度が極端に低く，特に層下部では弱い衝撃でも崩れる

ほどである。

なお、軽石層とその下位の関東ローム層との境界部には、厚さ約5mmの暗褐色の層が狭在する。これは軽石層から洗脱された物質が、透水係数の低いローム層上端に集積したもので、難溶性の Fe_2O_3 (褐色) 及び MnO (暗褐色～黒色) からなる。

(2) 真岡地区

採取地は、農場造成時に表土及び上部ロームの一部を剝土しているため、軽石層の深さは地表下約70cmである。上層部は、K上と同様に軟質な風化軽石を主体に構成されているが、固結度は比較的良好。イモゴライトがかすかに認められる。下層部は、粒径が小さく比較的硬い風化軽石が主体で、K下と同様固結度が小さく脆い。

なお、真岡地区においても軽石層下端に暗褐色の集積帯 (厚さ約5mm) がある。

3. 各試料の物理的諸性質

Table-2は、各試料の物理性 (平均値) を示したものである。物理性は、各層深さ7.5cm毎に3個、層全体で15個 (K上の場合) 採取したものを平均したものである。但し、軽石層上端部は、上部のロームが混入しているので平均値からは除外した。

(1) 自然含水比 (ω_n)

鹿沼土の含水比は、粒径の大小、イモゴライトの有無、風化の程度、深さにより異なる。定性的には、Table-2に示すように噴出源である赤城山に近いほど高い値を示し、また、イモゴライトのある上層部と透水係数の低いローム層に接する下層部で高い値である。

(2) 湿潤密度 (ρ_w)、乾燥密度 (ρ_d)

鹿沼土の ρ_w 及び ρ_d の値は、非常に小さく最大でも各々 $1.09\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $0.38\text{g}/\text{cm}^3$ である。特にルーズな下層部の ρ_w は $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ を下回る値である。これを関東ロームと比較すると ρ_w が約 $0.30\text{g}/\text{cm}^3$ 小さく、 ρ_d は約半分である。

(3) 比重 (G_s)

地域、深さの違いによる比重の差はごく僅かであるが、深い層ほど小さく、距離が遠くなるほど大きくなる傾向がある。鹿沼地区は平均で2.665、同じく真岡地区は2.702、笠間地区は2.776である。

(4) 間隙比 (e)

間隙比は、 $e=6\sim 8$ と非常に大きく関東ロームの2倍以上である。深さ方向では少しずつ異なり、鹿沼、真岡両地区とも、含水比の高い下層部で $e=7$ 以上の値を示す。

(5) 粒度分布

Fig-3は、各試料の粒径過積曲線を示したものであ

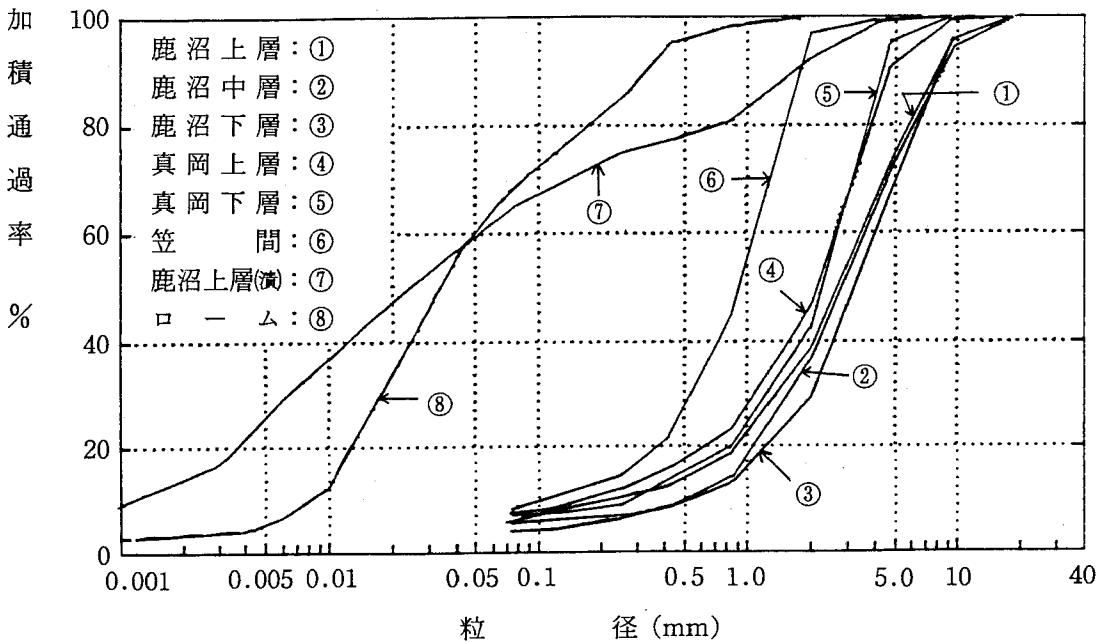


Fig. 3 粒径過積曲線
Grain size accumulation curve of Kanumatsuchi

Table 3 鹿沼土の土質分類（日本統一土質分類）
Classification of Kanumatsuchi (Japanese unified soil classification system)

試料名	細粒分 d < 0.075 (%)	砂分 0.075 < d < 2.0 (%)	礫分 d > 2.0 (%)	D ₁₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	均等 係数 U _c	曲率 係数 U _c '	土質 分類
鹿沼上層	5.9	32.9	61.2	0.25	1.40	3.5	14.0	2.24	G-F
鹿沼中層	4.0	32.7	63.3	0.51	1.70	3.6	7.1	1.57	G
鹿沼下層	5.4	23.7	70.9	0.52	2.05	4.1	7.9	1.97	G-F
真岡上層	7.3	44.4	48.3	0.18	1.05	2.3	12.8	2.66	G-F
真岡下層	6.9	48.7	44.4	0.38	1.10	2.2	5.8	1.45	S-F
笠間	8.3	88.8	2.9	0.11	0.52	1.1	10.0	2.23	S-F

る。粒度は、噴出源である赤城山からの距離に比例して細粒化し、しかも僅かであるが曲線の勾配が急になり均一化する傾向が窺われる。なお、鹿沼地区では深い層ほど粗粒となる。

これを細粒分、砂分、礫分に分けて土質分類を試みた結果がTable-3である。K上、K下は「細粒分混じり礫」、K中は「きれいな礫」に、M上は「細粒分混じり礫」、M下及びKAは「細粒分混じり砂」に分類される。

(6) アッターベルグ限界

液性限界は、粘土化の進んでいるK上、M上で各々95%、99%と他の試料が80~87%であるのに対し大きく、塑性限界についても同様の傾向である。何れの試料も自然含水比に比べ液性限界がかなり低く、練り返しなどにより簡単に液状化することを示している。なお、K上については練り返し時間を変えて実験を行ったが、関東ロームと同様時間が増すと液性限界値が大きくなる。

III. 鹿沼土の物理性の測定・計算法

1. 鹿沼土の構成

鹿沼土は大小の風化軽石を主体として構成されている。その他の要素としては、直径約2mmの軽石粒、長径約5mmの岩片及びイモゴライトが風化軽石間の空隙にあり、これら4要素がランダムに噛み合って構成されている。さらに、これら4要素間にも空隙（大空隙）があり、従って、通常測定される含水比や空隙比などの物理定数は、これら4要素が示す定数が複合した結果として得られることになる。

しかし、空隙一つを取り上げても風化軽石内部と風化軽石間の二重の空隙構造を有し、さらに量的には少ないが他の要素にも空隙があり、複合的な空隙構造であると言える。従って、これらは鹿沼土の物理的、力学的取扱上、質的に同一視し難く、また、鹿沼土の構造決定上からも各構成要素の内部と外部に分けて物理量を把握する必要がある。

2. 鹿沼土の物理定数

(1) 要素の乾燥質量比、含水比、比重の測定

各要素の含水比(ω)、炉乾燥質量比(α)及び真比重(G)は、一定量の原土を質量測定後解きほぐして、篩分け及びピンセットによる選別を行い4要素に分けて求めた。但し、軽石粒、イモゴライト、岩片の ω 、 G は、これらの量が少なく、測定誤差も大きくなる可能性があるので鹿沼上層の値を求め、これを他層の値と共通なものとして他層に適用した。

炉乾燥質量比は、鹿沼土の全炉乾燥質量に対する各要素の炉乾燥質量として与えた(α_1 :風化軽石、 α_2 :軽石粒、 α_3 :イモゴライト、 α_4 :岩片)。

(2) 各物理定数の算定式（記号の説明は文末に掲載）

① 各要素が保持する水分質量の全炉乾燥質量に対する比率(%)

a. 風化軽石内部

$$\omega_1' = \alpha_1 \cdot \omega_1 \quad (1)$$

b. 軽石粒内部

$$\omega_2' = \alpha_2 \cdot \omega_2 \quad (2)$$

c. 軽石粒子間（イモゴライト、岩片、大空隙）に保持されている水分の全炉乾燥質量に対する比率

$$\omega'' = \omega_n - (\omega_1' + \omega_2') \quad (3)$$

② 各要素内部の空隙量の全要素実質部の体積に対する比率（空隙比に相当）

a. 風化軽石

$$e_1' = \frac{V_{v1}}{\sum V_{s1}} = \frac{e_1 \cdot V_{s1}}{\sum V_{s1}} \\ = G_s \cdot \frac{\alpha_1}{G_1} \cdot e_1 \quad (4)$$

b. 軽石粒

$$e_2' = \frac{V_{v2}}{\sum V_{s1}} = \frac{e_2 \cdot V_{s2}}{\sum V_{s1}} \\ = G_s \cdot \frac{\alpha_2}{G_2} \cdot e_2 \quad (5)$$

c. 軽石粒子間

$$e'' = \frac{V_v}{\Sigma V_{s_i}} = \frac{(V - \Sigma V_{s_i}) - V_{v_1} - V_{v_2}}{\Sigma V_{s_i}} = e_n - e_1' - e_2' \quad (6)$$

③ 各要素の間隙量の全体積に対する比率

a. 風化軽石

$$n_1' = \frac{V_{v_1}}{V} = \frac{e_1 \cdot V_{s_1}}{V} = \frac{e_1 \cdot V_{s_1}}{(1 + e_n) \Sigma V_{s_i}} = \frac{e_1'}{1 + e_n} \quad (7)$$

b. 軽石粒

$$n_2' = \frac{V_{v_2}}{V} = \frac{e_2 \cdot V_{s_2}}{V} = \frac{e_2'}{1 + e_n} \quad (8)$$

c. 軽石粒子間

$$n'' = \frac{V_v'}{V} = \frac{(V - \Sigma V_{s_i}) - V_{v_1} - V_{v_2}}{V} = n_n - n_1' - n_2' \quad (9)$$

④ 各要素の飽和度

a. 風化軽石

$$S_1 = \frac{V_{w_1}}{V_{v_1}} = \frac{\omega_1 \cdot G_1}{e_1} \quad (10)$$

b. 軽石粒

$$S_2 = \frac{V_{w_2}}{V_{v_2}} = \frac{\omega_2 \cdot G_2}{e_2} \quad (11)$$

c. 軽石粒子間

$$S_0 = \frac{(m - \Sigma m_{s_i}) - m_{w_1} - m_{w_2}}{\{(V - \Sigma V_{s_i}) - e_1 \cdot V_{s_1} - e_2 \cdot V_{s_2}\} \rho_w} = \frac{\omega'' \cdot \Sigma m_{s_i}}{e'' \cdot \Sigma V_{s_i} \cdot \rho_w} = \frac{\omega''}{e''} \cdot G_0 \quad (12)$$

(3) 風化軽石, 軽石粒の密度, 間隙比, 飽和度の算定

① 風化軽石の密度測定

風化軽石は, 多孔質でかつ不定形であるので, 密度の測定はパラフィン塗布法によった。この方法は, 粒子自身が極めて軽量なので風化軽石の表面をパラフィンで覆った後, 重りを付けて風化軽石と一体とした塊を作成して試験を行なうものである。密度は(13)式で求めた。また, 試験装置の概略をFig-4に示す。

$$\rho_1 = \frac{m_1}{V_1} \quad (13)$$

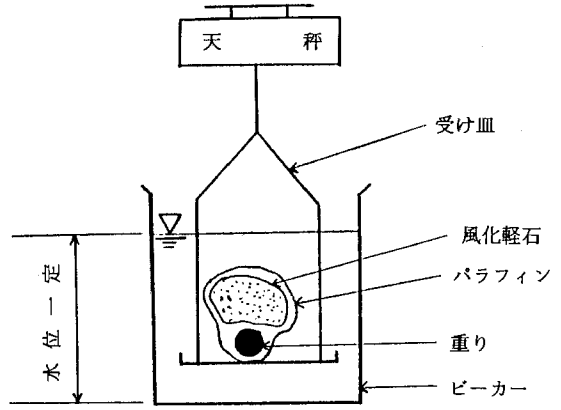


Fig. 4 風化軽石の密度測定の概略図
Density measuring apparatus of weathered pumice

$$V_1 = \frac{(M+t) - (M'+t') - K(b+t-b'-t')}{\rho_{WT}} - \frac{(M-b-m_1)}{\rho_P} \quad (14)$$

(14)式中のパラフィンの密度 ρ_P は, 次の様にして測定した。パラフィン, 取り扱いの都合を考慮して, MP. 60~62℃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。(14)式において $m_1 = 0, V_1 = 0$ とすると, ρ_P は(15)の様に表わされる。

$$\rho_P = \frac{\rho_{WT}(M-b)}{(M+t) - (M'+t') - K(b+t-b'-t')} \quad (15)$$

今回は, (15)式より求めた $\rho_P = 0.914 \text{g/cm}^3$ を用いて風化軽石の密度を求めた。

② 軽石粒の密度測定

軽石粒は, 細かな石粒 (直径 1~2 mm) であるので, ある程度の量をまとめて試料とした。試料体積を静かに水置換して(17)式でその量 (V_2) を求め, (16)式で軽石粒の密度 ρ_2 を算定する。

$$\rho_2 = \frac{m_2}{V_2} \quad (16)$$

$$V_2 = \frac{K \cdot (M_s - M_c) - (M_b - M_d)}{\rho_{WT}} \quad (17)$$

③ 風化軽石及び軽石粒の間隙比, 飽和度

(13)式及び(16)式によって密度を求め, さらにこれを基にして間隙比 (e_i), 飽和度 (S_i) を次式で算定した。

$$e_i = \frac{\rho_w}{\rho_{s_i}} \cdot G_i - 1 = \frac{G_i \cdot \rho_w (1 + \omega_i/100)}{\rho_i} - 1 \quad (18)$$

報文：地域、深さによる鹿沼土の物理的構成と各種物理性の差異について

Table 4 要素の乾燥質量比、含水比、比重
Ratio of dry weight, moisture ratio, specific gravity

試料名	項目	全体	要素名			
			風化軽石	軽石粒	イモゴライト	岩片
鹿沼上層	含水比 ω (%)	216.2	254.9	97.5	306.3	10.3
	乾燥質量比 α (%)	100.0	72.3	11.2	3.4	13.1
	比重 G	2.679	2.640	2.580	2.700	2.830
鹿沼中層	含水比 ω (%)	200.1	233.7	97.5	306.3	10.3
	乾燥質量比 α (%)	100.0	74.5	14.8	0.8	9.9
	比重 G	2.652	2.612	2.580	2.700	2.830
鹿沼下層	含水比 ω (%)	220.0	266.0	97.5	0	10.3
	乾燥質量比 α (%)	100.0	73.3	15.2	0	11.5
	比重 G	2.649	2.659	2.580	0	2.830
真岡上層	含水比 ω (%)	182.3	197.2	97.5	trace	10.3
	乾燥質量比 α (%)	100.0	87.1	6.6	trace	6.3
	比重 G	2.699	2.677	2.580	trace	2.830
真岡下層	含水比 ω (%)	189.9	200.7	97.5	0	10.3
	乾燥質量比 α (%)	100.0	90.8	3.6	0	5.6
	比重 G	2.701	2.658	2.580	0	2.830

$$S_i = \frac{G_i \cdot \omega_i}{e_i} \quad (19)$$

IV. 実験結果及び考察

実験は、K上、K中、K下及びM上、M下の5試料について行った。笠間試料については、粒度的にかなり細かであり各要素に分離することが難しく実験が行えなかった。

1. 各構成要素の乾燥質量比、含水比、比重

Table-4 は、各構成要素の乾燥質量比、含水比及び比重を示したものである。

乾燥質量比は、風化軽石の割合 (α_1) が非常に大きく何れも70%以上である。これを地域毎にみると、K上<K下<K中<M上<M下と真岡地区の方が風化軽石の比率が大きい。その分、軽石粒及び岩片の割合 (α_2, α_3) が10%以下で鹿沼地区より少ない。イモゴライトの割合 (α_4) は非常に少ない。

風化軽石の自然含水比は、鹿沼土の自然含水比と同様下層部が高い。粘土化の進んでいない軽石粒の含水比は、97.5%と風化軽石に比べてかなり低く、そのため鹿沼土の自然含水比は風化軽石の自然含水比より低い。また、寒天状のイモゴライトの含水比は、306%と最も高い値である。

比重の大きさは、岩片>イモゴライト>風化軽石>軽石粒の順で、全体の比重は、4要素の構成比の違いにより左右される。比重値が最も小さい軽石粒の割合が大きい鹿沼地区は、岩片の量が多いにもかかわらず真岡地区より小さい。また、鹿沼地区では、岩片及びイモゴライトを多く含むK上で大きい。

Table 5 風化軽石及び軽石粒の密度、間隙比、飽和度
Wet density, void ratio, degree of saturation

試料名	湿潤密度 (g/cm ³)	間隙比	飽和度 (%)
風土軽石	鹿沼上層 $\rho_1=1.098$	$e_1=7.54$	$S_1=89.3$
	鹿沼中層 $\rho_1=1.150$	$e_1=6.58$	$S_1=92.7$
	鹿沼下層 $\rho_1=1.183$	$e_1=7.23$	$S_1=97.9$
	真岡上層 $\rho_1=1.052$	$e_1=6.52$	$S_1=80.6$
	真岡下層 $\rho_1=1.080$	$e_1=6.40$	$S_1=83.5$
軽石粒	鹿沼上層 $\rho_2=1.317$	$e_2=2.87$	$S_2=87.7$

2. 風化軽石、軽石粒の密度、間隙比、飽和度

Table-5 は、風化軽石、軽石粒の湿潤密度、間隙比、飽和度の測定結果を示したものである。湿潤密度 ρ_i は、K上<K中<K下、M上<M下と鹿沼地区でまた層下部で大きい。また、飽和度の高い層で大きい。なお、飽和度 S_i は、K下の97.9%をはじめどの試料も鹿沼土全体の飽和度 S_i に比べかなり高い。

次に間隙比 e_i は、K下、M下を除き鹿沼土全体の間隙比 e より大きく、全体の間隙比が殆ど風化軽石によって決まることが分かる。

また、軽石粒の値はK上の値であるが、密度は風化軽石より大きく、同じく間隙比はかなり小さい。

3. 各要素の内部・外部の物理定数

Table-6 は、物理定数の算定式(1)~(4)及びTable-5の値を用いて求めた各要素の内部及び外部の物理定数である。各物理定数値は、何れの値も炉乾燥質量比 (α) にはほぼ比例しており、風化軽石の占める割合が高い。特に、風化軽石内の水分の割合は、K上<K中<K下<M上<M下の順であるが、どの試料も α_i 値を大きく上回っ

Table 6 各要素の物理定数
Physical properties of each components ()は構成比(%)

状態定数			試料名				
			鹿沼上層	鹿沼中層	鹿沼下層	真岡上層	真岡下層
全分質量の比 炉乾要素の質量内の対水 %	全体	ω_n	216.2 (100.0)	200.1 (100.0)	220.0 (100.0)	182.3 (100.0)	189.9 (100.0)
	風化軽石	ω_1'	184.3 (85.3)	174.1 (87.0)	195.0 (88.7)	171.8 (94.2)	182.2 (95.9)
	軽石粒	ω_2'	10.9 (5.0)	14.4 (7.2)	14.8 (6.7)	6.4 (3.5)	3.5 (1.8)
	軽石粒子間	ω''	21.0 (9.7)	11.6 (5.8)	10.2 (4.6)	4.1 (2.3)	4.2 (2.2)
全要素の比 体積内部の対の間隙 %	全体	n_n	87.1 (100.0)	86.5 (100.0)	88.0 (100.0)	86.4 (100.0)	88.2 (100.0)
	風化軽石	n_1'	71.0 (81.5)	67.1 (77.6)	63.2 (71.9)	77.9 (90.1)	69.6 (78.9)
	軽石粒	n_2'	4.2 (4.8)	5.9 (6.8)	5.4 (6.1)	2.7 (3.1)	1.3 (1.5)
	軽石粒子間	n''	11.9 (13.7)	13.5 (15.6)	19.4 (22.2)	5.8 (6.8)	17.3 (19.6)
要飽和の度 %	全体	S_n	85.6	82.6	79.1	77.4	68.5
	風化軽石	S_1	89.3	92.7	97.9	80.6	83.5
	軽石粒	S_2	87.6	87.6	87.6	87.6	87.6
	軽石粒子間	S_0	60.5	30.8	16.6	25.7	20.0

ており、全水分量の殆どを風化軽石が保持していることになる。これは、軽石粒が α_2 値の半分程度の保水能力でしかなく、また、軽石粒子間の保水量も極端に少ない分風化軽石の割合が高くなる。なお、軽石粒子間の水分量の割合は、 $K上 > K中 > K下 > M下 > M上$ の順であり、イモゴライトが殆どない真岡地区で少ない。

間隙についても水分の場合と同様で、全間隙量の70%以上が風化軽石中の間隙である。しかし、 $K下$ 、 $M下$ の場合、軽石粒子間の間隙量の割合が各々22.2%、19.6%と高く、ルーズな地盤であることを示している。

風化軽石、軽石粒の飽和度は、何れも90%前後と高い値を示すが、軽石粒子間の飽和度は、イモゴライトを含む $K上$ で高いが、他の層は全て30%以下と低い。

地域的には、給源火山である赤城山からの距離が増すに従い風化軽石の割合が大きくなり、軽石粒、岩片の割合は減少する。風化軽石の湿潤密度と飽和度も、距離が増す程含水比の低下に伴い減少するが、炉乾燥質量比が増加するため風化軽石内の水分量の割合は増加する。また、軽石粒子間の間隙量及び保水量は、距離が増すと減少する。

4. 要素毎の三相分布の算定

鹿沼土全体の三相分布は、Table-2 に示すように固相が少なく液相が非常に多いのが特徴である。

ここでは前項までの結果を用いて、鹿沼土の三相分布

を、風化軽石、軽石粒、イモゴライト、岩片及び以上の4要素間にある大間隙の5要素に分けて計算により求めた。計算を簡単にするため、炉乾燥質量を1.0($\sum \alpha_i = 1.0$)として各要素の三相分布を求めた。なお、求まる値は体積であり、これを鹿沼土の体積 $\{(1 + \omega_n/100) \sum \alpha_i\} / \rho_i$ で除した全体に対する体積比を()内に示した。以下は $K上$ についての計算例である。

(1) 計算例 ($K上$)

① 風化軽石部分 2.340cm³ (80.65%)

a. 実質部

$$V_{s1} = \alpha_1 / G_1 \rho_w = 0.723 / 2.64 \times 1.0 = 0.274 \text{cm}^3 \text{ (9.44\%)}$$

b. 水分

$$V_{w1} = \alpha_1 \omega_1 / 100 \rho_w = 0.723 \times 254.9 / 100 \times 1.0 = 1.843 \text{cm}^3 \text{ (63.52\%)}$$

c. ガス

$$V_{a1} = e_1 V_{s1} - V_{w1} = 7.54 \times 0.274 - 1.843 = 0.223 \text{cm}^3 \text{ (7.69\%)}$$

② 軽石粒部分 0.166cm³ (5.72%)

a. 実質部

$$V_{s2} = \alpha_2 / G_2 \rho_w = 0.112 / 2.58 \times 1.0 = 0.043 \text{cm}^3 \text{ (1.48\%)}$$

報文：地域，深さによる鹿沼土の物理的構成と各種物理性の差異について

Table 7 各要素の三相分布
Three phases of each components

試料名	要素名	三 相 比					合 計 (全 体) %	
		固 相 各要素の 構成比%	液 相 全体に対 する比%	気 相 各要素の 構成比%	全体に対 する比%	全体に対 する比%		
鹿沼上層	風化軽石	72.84	9.44	85.25	63.52	61.47	7.69	80.65
	軽石粒	11.42	1.48	5.04	3.76	3.84	0.48	5.72
	イモゴライト	3.47	0.45	4.81	3.59	0	0	4.04
	岩片	12.27	1.59	0.60	0.45	0	0	2.04
	大間隙	0	0	4.30	3.21	34.69	4.34	7.55
	計	100	12.96	100	74.53	100	12.51	100
鹿沼中層	風化軽石	75.00	10.04	87.00	61.32	29.25	4.72	76.08
	軽石粒	15.00	2.01	7.20	5.07	4.37	0.70	7.78
	イモゴライト	0.79	0.11	1.25	0.88	0	0	0.99
	岩片	9.21	1.24	0.50	0.35	0	0	1.59
	大間隙	0	0	4.05	2.85	66.38	10.71	13.56
	計	100	13.40	100	70.47	100	16.13	100
鹿沼下層	風化軽石	73.41	8.69	88.64	61.36	7.47	1.41	71.46
	軽石粒	15.69	1.85	6.73	4.66	3.49	0.66	7.17
	イモゴライト	0	0	0	0	0	0	0
	岩片	10.90	1.29	0.54	0.38	0	0	1.67
	大間隙	0	0	4.09	2.83	89.04	16.87	19.79
	計	100	11.83	100	69.23	100	18.94	100
真岡上層	風化軽石	87.13	11.80	94.24	62.38	71.86	14.56	88.74
	軽石粒	6.97	0.94	3.51	2.33	1.97	0.40	3.67
	イモゴライト	0	0	0	0	0	0	0
	岩片	5.90	0.80	0.33	0.22	0	0	1.02
	大間隙	0	0	1.92	1.27	26.17	5.30	6.57
	計	100	13.54	100	66.20	100	20.26	100
真岡下層	風化軽石	90.95	11.05	95.94	58.89	44.81	11.86	81.80
	軽石粒	3.70	0.45	1.84	1.13	0.60	0.16	1.74
	イモゴライト	0	0	0	0	0	0	0
	岩片	5.35	0.65	0.32	0.19	0	0	0.84
	大間隙	0	0	1.90	1.17	54.59	14.45	15.62
	計	100	12.15	100	61.38	100	26.47	100

b. 水分

$$V_{w2} = \alpha_2 \omega_2 / 100 \rho_w$$

$$= 0.112 \times 97.5 / 100 \times 1.0$$

$$= 0.109 \text{cm}^3 \text{ (3.76\%)}$$

c. ガス

$$V_{g2} = e_2 V_{s2} - V_{w2}$$

$$= 2.87 \times 0.043 - 0.109$$

$$= 0.014 \text{cm}^3 \text{ (0.48\%)}$$

③ イモゴライト部分 0.117cm³ (4.04%)

a. 実質部

$$V_{s3} = \alpha_3 / G_3 \rho_w = 0.034 / 2.70 \times 1.0$$

$$= 0.013 \text{cm}^3 \text{ (0.45\%)}$$

b. 水分

$$V_{w3} = \alpha_3 \omega_3 / 100 \rho_w$$

$$= 0.034 \times 306.3 / 100 \times 1.0$$

$$= 0.104 \text{cm}^3 \text{ (3.59\%)}$$

④ 岩片部分 0.059cm³ (2.04%)

a. 実質部

$$V_{s4} = \alpha_4 / G_4 \rho_w = 0.131 / 2.83 \times 1.0$$

$$= 0.046 \text{cm}^3 \text{ (1.59\%)}$$

b. 水分

$$V_{w4} = \alpha_4 \omega_4 / 100 \rho_w$$

$$= 0.131 \times 10.3 / 100 \times 1.0$$

$$= 0.013 \text{cm}^3 \text{ (0.45\%)}$$

⑤ 大間隙部分 0.219cm³ (7.55%)

a. 水分

$$V_{w5} = \omega_n \Sigma \alpha_i / 100 \rho_w - \Sigma V_{wi}$$

$$= 216.2 \times 1.0 / 100 \times 1.0$$

$$- (1.843 + 0.109 + 0.104 + 0.013)$$

$$= 0.093 \text{cm}^3 \text{ (3.21\%)}$$

b. ガス

$$V_{g5} = (1 + \omega_n / 100) \cdot \Sigma \alpha_i / \rho_s$$

$$\begin{aligned} & -(\Sigma V_{s1} + \Sigma V_{w1} + \Sigma V_{a1}) \\ & = (1 + 216.2/100) \times 1.0 / 1.068 \\ & - (0.376 + 2.162 + 0.237) \\ & = 0.126 \text{cm}^3 \quad (4.34\%) \end{aligned}$$

(2) 各構成要素の三相分布

Table-7は、上述の計算と同様にして求めた、各試料の要素毎の三相分布である。

固相の構成割合は、鹿沼地区では全固相の72.9~75.0%を風化軽石が占め、軽石粒、岩片は各々11.4~15.7%, 9.2~12.2%と少ない。一方、真岡地区では87.1~90.9%が風化軽石で占められ、軽石粒、岩片は各々3.7~7.0%, 5.3~5.9%とかなり少ない。

次に液相は、鹿沼地区では85.3~88.6%が、真岡地区では94.2~95.9%が風化軽石で占められる。なお、K上のイモゴライトは、量的に少ないが高含水比であるため4.8%になる。

以上のように固相及び液相の場合、風化軽石の占める割合が非常に大きく、しかも赤城山からの距離が遠くなる程風化軽石中の水分量の割合が多くなることが分かる。なお、固相、液相ともに深さ方向の違いは小さい。

これに対し、気相は地域、深さによる差が明確である。鹿沼地区の場合、K上では全気相の34.7%が大間隙で占められるが、K中では66.4%, K下では89.0%と深い層ほど大間隙内の気相の割合が増える。

真岡地区における大間隙の気相の割合は、M上26.2%, M下54.6%と鹿沼地区に比べて小さい値である。

K下、M下の気相の割合が上層に比べて大きいのは、両層とも比較的ルーズな地盤を形成しており、大間隙の体積比も各々19.7%, 15.6%と大きいにもかかわらず飽和度が20%以下と低いためである。

5. 摘 要

鹿沼軽石層は、無機質の種々の構成要素からなり、その特殊な性質と各要素の集合体としての複合的構造を有しているなど土質工学上の取扱が難しい。また、粒度、含水比等の物理性や土層の締め程度、固さ等の力学的も地域、深さにより異なり、鹿沼土の特性を総合的に表現することは難しい。

本稿は、主として各要素に分けた場合の物理定数の分析を試み、その表示法を示すと同時に、今後の力学的や保水性の解明のための指針を得ることを目的に検討を進めた。その結果は概ね以下に示すとおりであるが、圧縮性や保水性の解明に必要な指針を得たこと等、当初の目的はほぼ満足された。

(1) 鹿沼土を風化軽石、軽石粒、イモゴライト、岩片の4要素に分けて、その炉乾燥質量比を求めた。鹿沼地区

では全体の72~75%が、真岡地区では87~91%が風化軽石で、赤城山からの距離が遠くなるほど風化軽石の割合が増す。密度の大きい軽石粒、岩片の割合は、飛散距離の関係で徐々に少なくなる。

(2) 軽石粒子間の飽和度は、イモゴライトの多いK上で60.5%であるが、その他は16.6~30.8%と非常に低い。この部分の水分量もK上の9.7% (全水分量に対する比) 以外は何れも5%に満たない。

(3) 鹿沼土の三相分布の特徴は、固相が少なく液相が非常に多いことである。特に液相の割合は大きく、鹿沼地区が69~75%, 真岡地区が61~66%である。一方、気相の割合は、鹿沼地区13~19%, 真岡地区20~26%と真岡地区が鹿沼地区より若干大きい。

(4) 要素毎にみた場合、液相の73~91%は風化軽石によって占められ、しかも、風化軽石の飽和度が81~98%と高い。このことは風化軽石の保水性の良さ、ひいては軽石層としての保水性の良さを示すものである。

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の佐藤清衛先生を始め教職員の皆様に厚く御礼申し上げます。

備考：計算に用いた記号 (式番号順)

ΣV_{s1} : 全要素実質部の体積
 e_1 : 風化軽石の間隙比
 V_{v1} : 風化軽石内部の間隙量
 G_1 : 風化軽石の比重

(4)式

V_{s1} : 風化軽石実質部の体積
 G_s : 鹿沼土の比重
 V_{v2} : 軽石粒内部の間隙量
 G_2 : 軽石粒の比重
 V_{s2} : 軽石粒実質部の体積
 e_2 : 軽石粒の間隙比

(5)式

V_v' : 軽石粒子間の体積 (6)式

ΣV_{v1} : 鹿沼土の全間隙量 (7)式

V_{w1} : 風化軽石内部の水の体積 (10)式

V_{w2} : 軽石粒内部の水の体積 (11)式

Σm_{s1} : 全炉乾燥質量

m_{w1} : 風化軽石内部の水分質量 (12)式

m_{w2} : 軽石粒内部の水分質

M: (試料+パラフィン+重り)の空气中質量

M': (試料+パラフィン+重り)の水中質量

t: 受け皿の空气中質量

t': 受け皿の水中質量

b: 重りの空气中質量

b': 重りの水中質量

報文：地域，深さによる鹿沼土の物理的構成と各種物理性の差異について

K：補正係数 (ρ_{WT} / ρ_{WT}')

ρ_{WT}' ：($b' + t'$)測定時の水の密度

ρ_{WT} ：($M' + t'$)測定時の水の密度

ρ_P ：パラフィンの密度

m_1 ：風化軽石の質量 V_1 ：風化軽石の体積

以上，(14)式

m_2 ：軽石粒の質量 (16)式

V_2 ：軽石粒の体積

M_a ：(蒸留水+ピクノメーター)の質量(T' ℃)

M_b ：(蒸留水+試料+ピクノメーター)の質量(T ℃)

M_c ：ピクノメーターの質量

M_d ：(試料+ピクノメーター)の質量

ρ_{WT} ： T ℃の水の密度

以上，(17)式

ρ_d ：試料の乾燥密度

ρ_i ：試料の湿潤密度

ω_i ：試料の含水比 G_i ：試料の比重

以上，(18)式

参考文献

1. 関東ローム研究グループ：関東ローム，その起源と性状，pp.143～169 j 築地書館（1964）
2. 関東ローム研究グループ：関東ローム，その起源と性状 付図5（柱状図集）及び 付図6（関東ロームの等厚線と柱状図の位置），j 築地書館（1964）
3. 阿久津 純：宇都宮付近の関東ローム（火山灰層）地球科学33, pp.1～11, (1957)
4. 木村俊雄，竹内 均，他編集：地学辞典 第3巻，pp.101 古今書院，(1976)
5. 鈴木 敬，富田平四郎 他：鹿沼土の物理的構成とその性質について，宇都宮大学 農学部学術報告12巻1号，pp.1～10, (1983)
6. 鈴木敬，富田平四郎 他：鹿沼軽石層の状態定数の取扱についての基礎的考察，農業土木学会大会講演要旨集，pp.357～358, 農業土木学会，(1982)
7. 土質工学会編：土質試験の方法と解説，土質工学会，(1990)

(受稿年月日 1993年10月12日)