

第 1 章

土粒子の密度試験

1.1 はじめに

土の固体部分（ $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ で乾燥させた後に残留する部分のことで、以下「土粒子」と呼ぶ）を構成する無機物や有機物の単位体積当たりの質量を「土粒子の密度」といい、この値は土塊中に含まれる空気のすき間（間隙）や水の満たされ具合（飽和度）等といった土の基本的な性質を求めるのに必要となる．一般に，土は気体（空気），液体（水），固体（土粒子）の 3 相から構成され，それらを模式的に表すと図 1.1 のようになる．この模式図のうち，破線で囲った部分の質量と体積の比が土粒子の密度を表すので，“構成要素のうちの固体部分の質量と体積を上手に測定すること”が，この試験の目的である．

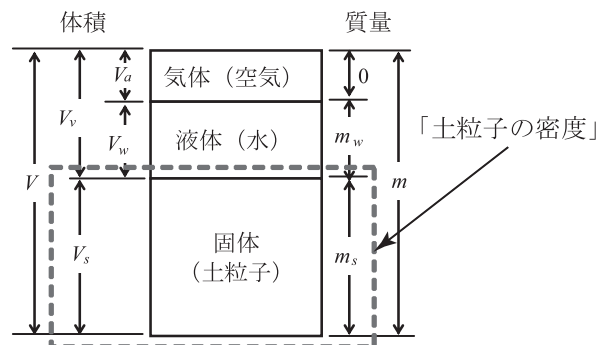


図 1.1 土の三相分布

1.2 固体部分の求め方

固体部分の質量と体積を上手に測定するには、気体や液体部分を固体部分から十分に取り除く作業を行わなければならない。具体的には、土を容器に入れて煮沸することで土粒子が持っている水分や気泡を取り除くのだが、試料を入れる容器として、現在、最も一般的なのが図 1.2 と写真 1.1 に示すピクノメーターである。ピクノメーターは、写真 1.1 のようにびんとストッパーに分かれるが、それぞれに番号が付いており、同じ番号同士でないとうまくかみ合わない仕組みになっている。

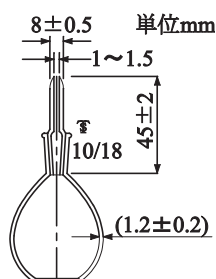


図 1.2 ピクノメーターの規格

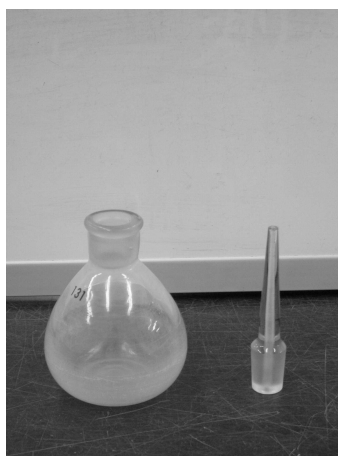


写真 1.1 ピクノメーターの実例

また、煮沸以外の方法として以下に記すような代替法があるが、いずれも一般的ではなく、また短所を持ち併せているため、実施時には注意が必要である。

1. 減圧法：減圧させて試料内の気圧を下げ脱気を促進させる方法。減圧しすぎると沸騰する恐れがあるため、必要に応じて圧力の調整が必要となる。
2. 電子レンジ法：ピクノメーターを電子レンジに入れて沸騰させる方法。レンジの加熱出力を調整する必要がある。
3. 超音波法：超音波により脱気させる方法。粒子破碎を生じやすい土粒子には適さない。

1.3 試験に用いる試料の準備

ここでは、この試験に用いる試料をどのように準備すればよいかを説明しておこう。

① 試料の調整

1. 試料の分取：図 1.3 に示す四分法と呼ばれる方法で分取する。試験 1 回当たりの分取量は、容量 100 ml 以下のピクノメーターなら 20 g、容量 100 ml 以上なら 40 g を目安とする。
2. 含水比調整：非乾燥法（採取時の含水比のままの試料を均一に混合して用いる方法）、空気乾燥法（所定の含水比まで乾燥させて用いる方法）、炉乾燥法（ $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ の恒温乾燥炉で炉乾燥させて用いる方法）のいずれの試料を用いてもよい。ただし、乾燥した試料は土粒子の団粒化によって気泡が抜け出づらくなるため、非乾燥法による試料を用いるのが理想的である。
3. 粒度の調整：図 1.4 に示すように 9.5 mm ふるいでふるって、その通過分を用いる。

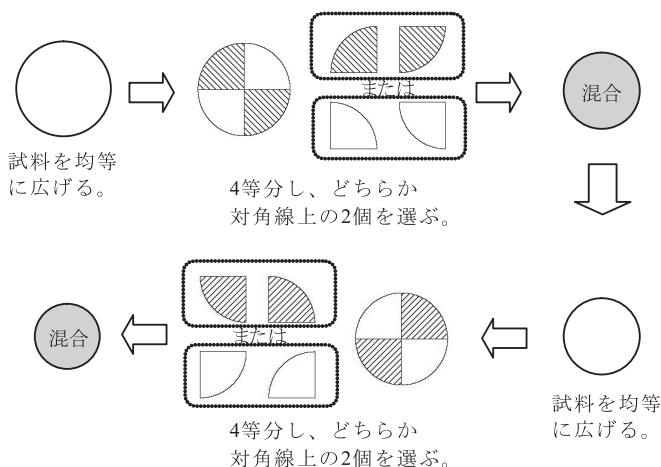


図 1.3 「四分法」による試料の分取方法

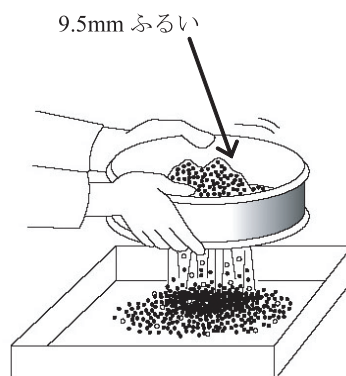


図 1.4 ふるい分け作業

② 土粒子の分離

土の分離・破碎器具を用いて土粒子を十分に分離し、大きな植物繊維はすりつぶしておく。

③ 必要な試料量

容量 100 ml 以下のピクノメーターなら炉乾燥質量で 10 g 以上、容量 100 ml 以上なら

炉乾燥質量で 25 g 以上を準備する。

一見、簡単そうに見える試験だが、試験を始めるまでにこれだけの準備が必要となる。だが、この試験はこの部分が最も大事で、試験自体は難しい装置を使うわけではないので、ここまで無事に出来たら、あとは慎重に試験を開始しよう。

1.4 試験方法

試験は以下の手順で行えばよい。

- ① ピクノメーターの質量 m_f (g) を測定する。

ストッパー付きのピクノメーターの場合、ストッパーを付けた状態で測定する（図 1.5 a) 参照）。

- ② ピクノメーターのストッパーを外し、蒸留水を満たした後でストッパーを付けて全質量 m_a' (g) を測定する（図 1.5 b) 参照）。このとき、ストッパー内に空気が残らないように注意する（図 1.6 参照）。

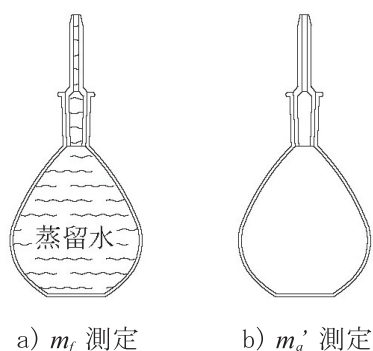


図 1.5 ピクノメーターの検定

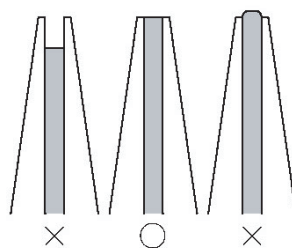


図 1.6 ストッパーの状態

- ③ ストッパーを外してピクノメーター内に温度計を入れ、水温 T' ($^{\circ}\text{C}$) を測定する。測定後は蒸留水を捨てる。

- ④ 空にしたピクノメーターに試料を入れ、ピクノメーターの 2/3 程度まで蒸留水を注ぐ。

* 炉乾燥試料を用いる場合は事前に質量 m_s (g) を測定し、蒸留水を注いだ後、12 時間以上水浸させる。

- ⑤ 湯せん用具を用いて試料の入ったピクノメーターを、ストッパーを外したまま煮沸する（写真 1.2 参照）。気泡を十分に除いたら煮沸を終了し、試料を室温程度になるまで放

置する．



写真 1.2 試料の煮沸状況

* 試料中の気泡を十分に取り除くため，時々ピクノメーターを振って気泡の抜き出しを促進させる．

* 煮沸時間は一般の土で 10 分以上，高有機質土では約 40 分以上，火山灰質土では約 2 時間以上必要である．一定の値を得るためには，経験的に 2～4 時間以上の煮沸は必要との報告もある．

⑥ ⑤のピクノメーターに蒸留水を注いで満たし，ストッパーを付けて全質量 m_b (g) を測定する．ここでも，ストッパー内に空気が残らないように注意する．

⑦ ストッパーを外してピクノメーター内に温度計を入れ，水温 T (°C) を測定する．

⑧ ピクノメーター内の内容物を蒸発皿に残らず取り出し， $110 \pm 5^\circ\text{C}$ で炉乾燥させたあと，室温まで冷まして炉乾燥試料の質量 m_s (g) を測定する．

* 炉乾燥試料を用いる場合は，④でこの作業を終了しているため，省略して良い．

1.5 結果の整理と解釈

試験結果をデータシートに記入し，以下の手順で土粒子の密度 $\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$ を算出する．

まず， T (°C) における蒸留水を満たしたピクノメーターの質量 m_a (g) を式 (1.1) によって算出する．

$$m_a = \frac{\rho_w(T)}{\rho_w(T')} (m'_a - m_f) + m_f \quad (1.1)$$

ここに，

m_a : 温度 $T(^{\circ}\text{C})$ における蒸留水を満たしたピクノメーターの質量 (g)

m'_a : 温度 $T'(^{\circ}\text{C})$ における蒸留水を満たしたピクノメーターの質量 (g)

T' : m'_a を測定したときのピクノメーターの内容物の温度 ($^{\circ}\text{C}$)

m_f : ピクノメーターの質量 (g)

$\rho_w(T)$: $T(^{\circ}\text{C})$ における蒸留水の密度 (表 1.2 を参照)

$\rho_w(T')$: $T'(^{\circ}\text{C})$ における蒸留水の密度 (表 1.2 を参照)

上式で求めた m_a を用いて式 (1.2) から土粒子の密度が求められる．

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_s + (m_a - m_b)} \times \rho_w(T) \quad (1.2)$$

ここに，

m_s : 炉乾燥試料の質量 (g)

m_b : 温度 $T(^{\circ}\text{C})$ の蒸留水と試料を満たしたピクノメーターの質量 (g)

T : m_b を測定したときのピクノメーターの内容物の温度 ($^{\circ}\text{C}$)

表 1.1 代表的な土粒子の密度

鉱物名	密度 ρ_s (g/cm ³)	鉱物名	密度 ρ_s (g/cm ³)
石英	2.6 ~ 2.7	豊浦砂	2.64
長石	2.5 ~ 2.8	沖積砂質土	2.6 ~ 2.8
雲母	2.7 ~ 3.2	沖積粘性土	2.50 ~ 2.75
角閃石	2.9 ~ 3.5	洪積砂質土	2.6 ~ 2.8
輝石	2.8 ~ 3.7	洪積粘性土	2.50 ~ 2.75
磁鉄鉱	5.1 ~ 5.2	泥炭 (PEAT)	1.4 ~ 2.3
クロライト	2.6 ~ 3.0	関東ローム	2.7 ~ 3.0
イライト	2.6 ~ 2.7	まさ土	2.6 ~ 2.8
カオリナイト	2.5 ~ 2.7	しらす	1.8 ~ 2.4
モンモリロナイト	2.0 ~ 2.4	黒ぼく	2.3 ~ 2.6

我が国の代表的な土粒子の密度を表 1.1 に示す．一般的な無機質土（豊浦砂，沖積土，洪積土など）は $2.6 \sim 2.8 \text{ g/cm}^3$ の範囲に含まれ，泥炭のように多量の有機物を含むものは小さな値を示す．値に影響を及ぼす要素としては，鉱物の種類や含有量，風化の度合いや有機物の含有量等が挙げられる．例えば，表 1.1 の雲母や角閃石，輝石などのように密度の大きな鉱物が多いと土粒子の密度は大きくなるし，風化花崗岩からなるまさ土は風化の度合いによってその値が変化する．

表 1.2 蒸留水の密度

温度 $T/^{\circ}\text{C}$	蒸留水の密度 (g/cm^3)									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
4	0.99997	0.99997	0.99997	0.99997	0.99997	0.99997	0.99997	0.99997	0.99997	0.99997
5	0.99996	0.99996	0.99996	0.99996	0.99996	0.99995	0.99995	0.99995	0.99995	0.99994
6	0.99994	0.99994	0.99993	0.99993	0.99993	0.99992	0.99992	0.99991	0.99991	0.99991
7	0.99990	0.99990	0.99989	0.99989	0.99988	0.99988	0.99987	0.99987	0.99986	0.99985
8	0.99985	0.99984	0.99984	0.99983	0.99982	0.99982	0.99981	0.99980	0.99979	0.99979
9	0.99978	0.99977	0.99976	0.99976	0.99975	0.99974	0.99973	0.99972	0.99972	0.99971
10	0.99970	0.99969	0.99968	0.99967	0.99966	0.99965	0.99964	0.99963	0.99962	0.99961
11	0.99961	0.99959	0.99958	0.99957	0.99956	0.99955	0.99954	0.99953	0.99952	0.99951
12	0.99949	0.99948	0.99947	0.99946	0.99946	0.99944	0.99943	0.99941	0.99940	0.99939
13	0.99938	0.99936	0.99936	0.99934	0.99932	0.99931	0.99930	0.99928	0.99927	0.99926
14	0.99924	0.99923	0.99921	0.99920	0.99919	0.99917	0.99916	0.99914	0.99913	0.99911
15	0.99910	0.99908	0.99907	0.99905	0.99904	0.99902	0.99901	0.99899	0.99897	0.99896
16	0.99894	0.99892	0.99891	0.99889	0.99888	0.99886	0.99884	0.99882	0.99881	0.99879
17	0.99877	0.99876	0.99874	0.99872	0.99870	0.99868	0.99867	0.99865	0.99863	0.99861
18	0.99860	0.99857	0.99856	0.99854	0.99852	0.99850	0.99848	0.99846	0.99844	0.99842
19	0.99841	0.99838	0.99836	0.99834	0.99832	0.99830	0.99828	0.99826	0.99824	0.99822
20	0.99820	0.99818	0.99816	0.99814	0.99812	0.99810	0.99808	0.99805	0.99803	0.99801
21	0.99799	0.99797	0.99795	0.99792	0.99790	0.99788	0.99786	0.99784	0.99781	0.99779
22	0.99777	0.99775	0.99772	0.99770	0.99768	0.99765	0.99763	0.99761	0.99758	0.99756
23	0.99754	0.99751	0.99749	0.99746	0.99744	0.99742	0.99739	0.99737	0.99734	0.99732
24	0.99730	0.99727	0.99724	0.99722	0.99719	0.99717	0.99714	0.99712	0.99709	0.99707
25	0.99704	0.99702	0.99699	0.99697	0.99694	0.99691	0.99689	0.99686	0.99683	0.99681
26	0.99678	0.99676	0.99673	0.99670	0.99667	0.99665	0.99662	0.99659	0.99657	0.99654
27	0.99651	0.99648	0.99646	0.99643	0.99640	0.99637	0.99634	0.99632	0.99629	0.99626
28	0.99623	0.99620	0.99617	0.99615	0.99612	0.99609	0.99606	0.99603	0.99600	0.99597
29	0.99594	0.99591	0.99588	0.99585	0.99583	0.99580	0.99577	0.99574	0.99571	0.99568
30	0.99565	0.99562	0.99558	0.99555	0.99552	0.99549	0.99546	0.99543	0.99540	0.99537
31	0.99534	0.99531	0.99528	0.99525	0.99521	0.99518	0.99515	0.99512	0.99509	0.99506
32	0.99503	0.99499	0.99496	0.99493	0.99490	0.99486	0.99483	0.99480	0.99477	0.99473
33	0.99470	0.99467	0.99464	0.99460	0.99457	0.99454	0.99450	0.99447	0.99444	0.99440
34	0.99437	0.99434	0.99430	0.99427	0.99423	0.99420	0.99417	0.99413	0.99410	0.99406
35	0.99403	0.99400	0.99396	0.99393	0.99389	0.99386	0.99382	0.99379	0.99375	0.99372
36	0.99368	0.99365	0.99361	0.99358	0.99354	0.99351	0.99347	0.99343	0.99340	0.99336
37	0.99333	0.99329	0.99325	0.99322	0.99318	0.99315	0.99311	0.99307	0.99304	0.99300
38	0.99297	0.99293	0.99289	0.99285	0.99282	0.99278	0.99274	0.99270	0.99267	0.99263
39	0.99259	0.99255	0.99252	0.99248	0.99244	0.99240	0.99237	0.99233	0.99229	0.99225

1.6 データシートの記入例

JIS A 1202 JGS 0111		土 粒 子 の 密 度 試 験 (検 定 , 測 定)					
調査件名		〇〇地区地質調査			試験年月日		2006.08.28
					試験者		舗 装 太 郎
試料番号(深さ)		2P - 1 (1.15~1.45 m)			2P - 3 (3.15~3.45 m)		
ピクノメーターNo.		1	2	3	4	5	6
ピクノメーターの質量		m_f g	53.837	55.103	54.158	55.877	55.210
(蒸留水+ピクノメーター)質量		m_d' g	153.509	160.803	151.710	154.663	159.638
m_d' をはかったときの蒸留水の温度		T' °C	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
T' °Cにおける蒸留水の密度		$\rho_w(T')$ g/cm ³	0.99820	0.99820	0.99820	0.99820	0.99820
(試料+蒸留水+ピクノメーター)質量		m_b g	169.026	177.588	167.374	172.627	176.310
m_b をはかったときの内容物の温度		T °C	26.0	26.0	26.0	25.0	25.0
T °Cにおける蒸留水の密度		$\rho_w(T)$ g/cm ³	0.99678	0.99678	0.99678	0.99704	0.99704
温度の蒸留水を満たしたときの (蒸留水+ピクノメーター)質量		m_a g	153.367	160.653	151.571	154.548	159.517
試 料 の 炉 乾 燥 質 量	容 器 No.	1	2	3	4	5	6
	(炉 乾 燥 試 料 + 容 器) 質 量 g	70.924	71.597	68.811	74.064	71.700	77.202
	容 器 質 量 g	43.811	44.968	43.902	45.520	45.183	45.069
	m_s g	27.113	26.629	24.909	28.544	26.517	32.133
土 粒 子 の 密 度		ρ_s g/cm ³	2.359	2.738	2.727	2.719	2.719
平 均 値		ρ_s g/cm ³	2.608			2.715	
試 料 番 号 (深 さ)		2P - 4 (4.15~4.45 m)			2P - 5 (5.15~5.45 m)		
ピクノメーター No.		7	8	9	10	11	12
ピクノメーターの質量		m_f g	54.359	54.073	53.910	54.780	53.937
(蒸留水+ピクノメーター)質量		m_d' g	161.531	150.372	151.791	153.984	154.398
m_d' をはかったときの蒸留水の温度		T' °C	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
T' °Cにおける蒸留水の密度		$\rho_w(T')$ g/cm ³	0.99820	0.99820	0.99820	0.99820	0.99820
(試料+蒸留水+ピクノメーター)質量		m_b g	173.131	163.288	166.083	167.300	167.398
m_b をはかったときの内容物の温度		T °C	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
T °Cにおける蒸留水の密度		$\rho_w(T)$ g/cm ³	0.99730	0.99730	0.99730	0.99730	0.99730
温度の蒸留水を満たしたときの (蒸留水+ピクノメーター)質量		m_a g	161.434	150.285	151.703	153.895	154.307
試 料 の 炉 乾 燥 質 量	容 器 No.	7	8	9	10	11	12
	(炉 乾 燥 試 料 + 容 器) 質 量 g	62.553	64.344	66.541	66.224	64.857	69.051
	容 器 質 量 g	44.061	43.697	43.783	45.000	43.921	44.351
	m_s g	18.492	20.647	22.758	21.000	20.936	24.700
土 粒 子 の 密 度		ρ_s g/cm ³	2.714	2.694	2.709	2.758	2.661
平 均 値		ρ_s g/cm ³	2.706			2.691	
特記事項							
$m_w = \frac{\rho_w(T)}{\rho_s(T)} \times (m_s - m_f) + m_f$ $\rho_s = \frac{m_s}{m_s + (m_a - m_b)} \times \rho_w(T)$							

図 1.7 記入例 1-1