

土粒子の密度試験、土の含水比試験、土の湿潤密度試験

中村 博*

* NAKAMURA Hiroshi、兼松サステック(株) ジオテック事業部 東京都中央区日本橋 3-3-2 トルナーレ日本橋浜町 6F

1. はじめに

今回紹介する「土粒子の密度試験」、「土の含水比試験」及び「土の湿潤密度試験」は、土の物理試験に該当する。土の物理試験の主な目的は、土及び地盤材料の工学的分類、土の状態の直接的ないし間接的な把握を行うことにある¹⁾。

地盤の支持力や圧縮強さを考えた場合、一般的には一軸圧縮試験や三軸圧縮試験を行うことでその強度特性を把握することができる。考え方によっては力学試験を実施することで土の強度特性の把握は可能であるので、物理試験を実施する必要はないのでは、との考え方に行き着かなくもない。しかし、仮に広大な敷地において2箇所で一軸圧縮試験を実施した際にその強度がばらついたとする。このような場合、力学試験のみではその発生要因を特定することが困難である。一方、粒度や含水比などの物理試験を実施していた場合には、その粒度や含水の変化が一軸圧縮強さの大小につながったのではないかと予測が可能となるケースもある。

土粒子の密度は土の分類において直接的に用いることはないが、土の基本的性質の一つであることや他の物性値を求めるために必要となる¹⁾。試験はJIS A 1202-1990に規定されている。

土の含水比を土の分類に用いる場合、液性限界や塑性限界などの値を利用している。また含水比は飽和状態の粘性土の場合、間隙比と一義的な関係にある。含水比や間隙比は、土の圧縮性や強度特性とよい相関関係にあり、複雑な試験手順と時間のかかる力学特性の概略を推定するのに利用されることもある¹⁾。

土は図-1に示すように土粒子と水及び空気で構成されており、この水や空気の部分を間隙という。土の湿潤密度は土の単位体積重量であり、一般的な土で1.6~2.0/g/cm³、有機質が混入していると小さな値を示し、高有機質

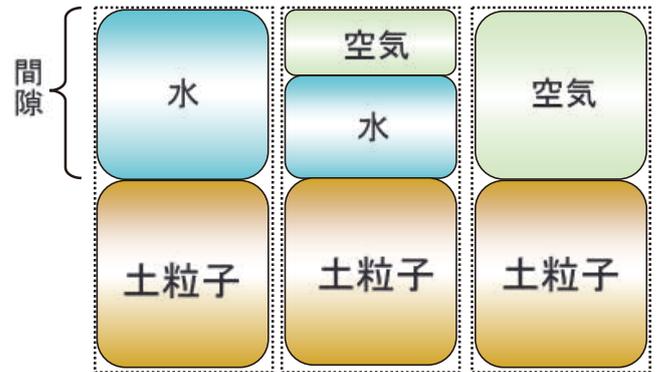


図-1 土の構成イメージ

土の泥炭では、0.8~1.3g/cm³の値を示すといわれている。

表-1に代表的な土の含水比w、土粒子の密度 ρ_s 、湿潤密度 ρ_t の測定例を示す。

2. 土粒子の密度試験

2.1 試験概要

土粒子の密度 ρ_s は、土粒子部分のみの単位体積質量である。土粒子の質量は炉乾燥して求め、その体積はピクノメーターを用いて同体積の水の質量を測定することすることで求める。

土粒子の密度試験では、あらかじめ9.5mmフルイを通過した試料を用いて実施する。試料は分離用具を用いて十分ほぐし、試料の量は100ml未満のピクノメーターを用いる際には乾燥質量で10g以上、100ml以上のピクノメーターを使用する場合は25g以上とする。基本的に試料は非乾燥土、空気乾燥土及び炉乾燥土のいずれを用いても良いが、乾燥すると土粒子の団粒化のため土粒子間の気泡が抜けづらくなるので注意が必要である。

測定手順は、ピクノメーターに試料を入れ、蒸留水を

表-1 代表的な土のw、 ρ_s 、 ρ_t の測定例²⁾

土の種類	沖積粘土	洪積粘土	砂質土	関東ローム	泥炭	まさ土	シラス
含水比 w (%)	50 ~ 80	30 ~ 60	10 ~ 30	80 ~ 150	110 ~ 1300	6 ~ 30	15 ~ 30
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.5 ~ 2.75	2.5 ~ 2.75	2.6 ~ 2.8	2.7 ~ 2.9	1.4 ~ 2.3	2.6 ~ 2.8	2.3 ~ 2.5
湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	1.2 ~ 1.8	1.6 ~ 2.0	1.6 ~ 2.0	1.2 ~ 1.5	0.8 ~ 1.3	1.5 ~ 2.0	1.2 ~ 1.5

2/3程度になるように入れる。湯せん用具を用いてピクノメーターごと加熱する。このとき十分気泡を取り除くため時々ピクノメーターを振って気泡の抜け出しを促進する。その後ピクノメーターの内容物が室温となるまで放置する。ピクノメーターを蒸留水で満たし、全質量 m_b (g) と内容物の温度 T (°C) を測定する。ピクノメーターの内容物を蒸発皿に全量取り出し、一定質量になるまで炉乾燥を行う。炉乾燥試料をデシケーター内でほぼ室温になるまで冷まし、試料の炉乾燥質量 m_s (g) を測定する。写真-1 に試験状況を示す。

2.2 結果の整理

土粒子の密度 ρ_s は次式により求めることができる。

$$\rho_s = m_s / (m_s + (m_a - m_b)) \times \rho_w (T)$$

ここに、 m_s : 炉乾燥試料の質量 (g)

m_b : 温度 T (°C) の蒸留水と試料を満たしたピクノメーターの質量 (g)

m_a : 温度 T (°C) の蒸留水を満たしたピクノメーターの質量 (g)

$\rho_w (T)$: T (°C) における蒸留水の密度 (g/cm³)

2.3 解釈と利用例

土粒子の密度試験は、粒度試験の沈降分析や締固め試験のゼロ空気間隙曲線の作図などに利用される。土粒子の密度は一般的に2.5~2.8g/cm³の範囲内であることが多いが、有機質分で構成される泥炭などでは、土粒子の密度は1.4~2.3g/cm³とかなり低い値となる。

土粒子の密度は、密度の大きい鉱物を多く含んでいる土ほど大きくなり、まさ土では、鉱物の風化が進むと小さくなる傾向を示し、有機鉱物を含む土では、土粒子と固体有機物の含有割合により変化する。そのため有機物の含有量が多いほど小さい値を示す。

土粒子の密度が必要となるケースとして、盛土の管理方法として品質規定方式である飽和度規定を採用した場合がある。飽和度規定では、空気間隙率や飽和度を把握するた

め乾燥密度 ρ_d や土粒子の密度 ρ_s を用いて算出を行う必要がある。

3. 土の含水比試験

3.1 試験概要

含水比 w は、土粒子の質量に対する間隙に含まれる水の質量の割合を百分率で表したものである。含水比は2つの方法で求めることができる。一つ目は、110±5°Cの炉乾燥によって水を蒸発させて求める炉乾燥法であり、二つ目は電子レンジによる加熱で水を蒸発させて求める電子レンジ法である。以下、炉乾燥法の試験方法を説明する。

含水比試験では、まず容器の質量 m_c (g) を測定し、試料を容器に入れ、試料+容器の質量 m_a (g) を測定する。容器ごと恒温乾燥路にいれ、110±5°Cで乾燥質量が一定になるまで乾燥する。乾燥試料をデシケーターに入れ、ほぼ室温になるまで冷まし、乾燥質量+容器の質量 m_b (g) を測定する。写真-2 に計測状況を示す。

3.2 結果の整理

含水比 w (%) は次式により求めることができる。

$$w = (m_a - m_b) / (m_b - m_c) \times 100$$

ここに、 m_a : 試料と容器の質量 (g)

m_b : 乾燥試料と容器の質量 (g)

m_c : 容器の質量 (g)

3.3 解釈と利用例

自然含水比がわかると、おおまかな土質の推定の目安になる。また、電子レンジ法と炉乾燥法では加熱原理が異なり、誤差が生じ、電子レンジ法は炉乾燥法に比べ含水比が大きくなる傾向があるので留意が必要である。

含水比は、一般的に土のおかれている諸条件によって異なる。砂分、礫分の混入率が高いほど含水比は低く、細粒



写真-1 土粒子の密度試験状況



写真-2 含水比試験の試験状況

分の含有率が多いほど含水比が高くなるのが一般的である。

自然含水比の値が液性限界 w_L の値より大きいか、小さいかは、その土の力学的性質にとって大きな意味がある。自然含水比が液性限界 w_L よりも大きな場合には液性状（流動粘土）、自然含水比が液性限界 w_L と塑性限界 w_p の間にある場合は塑性状（塑性粘土）、自然含水比が塑性指数 w_p よりも小さい場合には半固体状（弾性粘土）となる。

含水比は圧密試験を実施する場合などに必要となる。また、土の締固めなどを行う場合には最適な含水比を規定する必要がある、土の突固め試験などを実施し、最適含水比などを求めて盛土管理の基準として設定する。含水比は土の状態を把握するために非常に重要な物性値となる。

4. 土の湿潤密度試験

4.1 試験概要

湿潤密度 ρ_t は、土全体の単位体積質量であり、自立する塊状の土を対象とし、その体積と質量を測定して求める。体積の求め方には二種類あり、一つ目は、円柱形に作成された供試体の寸法をノギスで直接測定して体積を求めるノギス法、二つ目は、供試体周辺にパラフィンを塗布し、塗布前の質量と見かけの水中質量から体積を間接的に求めるパラフィン法がある。以下、ノギス法の試験方法を説明する。

土の湿潤密度試験は、まず供試体の質量 m (g) と削りくずで含水比 w (%) を測定する。次にノギスで供試体の平均直径 D (cm) 及び高さ H (cm) を求める。写真-3に測定状況を示す。

4.2 結果の整理

湿潤密度 ρ_t は次式より求めることができる。

$$\rho_t = m/V$$

ここに、 m ：供試体の質量 (g)

V ：供試体の体積 (cm³)

なお、体積 V は次式により算出する。

$$V = \pi/4 \cdot D^2 \cdot H$$



写真-3 土の湿潤密度試験状況

ここに、 D ：平均直径 (cm)

H ：平均高さ (cm)

4.3 解釈と利用例

今回紹介した物理試験の中で唯一乱れの少ない試料を用いる試験である。

湿潤密度は、間隙に含まれる水の量によって変化する。密度が大きいと地盤がよく締まっている状態、小さいと緩く軟弱であることになる。

土の湿潤密度は、土圧計算、盛土・斜面の安定計算、地中応力（液状化判定時などにも利用）、圧密沈下などの計算に必要不可欠である。例えば、擁壁の安定計算を考えた場合、土の湿潤密度は土圧の大きさに影響を及ぼす。

5. さいごに

我々地盤技術者にとって、土の物性値を把握し、地盤判定や地盤補強の改良に生かすことは非常に重要である。一般的な戸建住宅においては、このような物理試験を実施することはまれであるが、その概要を把握しておく必要がある。一軸圧縮試験や三軸圧縮試験の力学試験では直接的なせん断強さなどの把握を行えるのに対し、物理試験では土の性状を把握するために用いる。例えば、土の強さは水との関係が深い。このことから含水比を把握することができれば地盤が軟弱であるのか否かの大まかな予測も可能である。また、土の湿潤密度は様々な計算で用いられる。土の全応力や有効応力を把握するためにも必要となるし、それらを利用した液状化判定にも使用される。戸建住宅における地盤技術者でも、これからは土質試験の理解を深めることが必要ではないだろうか。

参考文献

- 1) 地盤工学会、地盤調査・土質試験結果の解釈と適用例、1998年
- 2) 地盤工学会、土質試験-基本と手引き-、2004年