

大山倉吉軽石不攪乱試料の物理的性質：測定方法の影響

清水 正喜・山本 大輔
鳥取大学工学部土木工学科

Physical properties of Daisen Kurayoshi Pumice: effects of measuring methods

Masayoshi SHIMIZU and Daisuke YAMAMOTO
Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Tottori University
Koyama, Tottori, 680-8552 Japan

Abstract: Some indexes for physical properties of volcanic soils depend on testing procedure. The soil particle density and consistency limits were determined on Daisen Kurayoshi Pumice by adopting different procedures for preparing and testing the sample. For the soil particle density, the combined use of a double boiler and the vacume is effective for the de-air. The liquid limit depended on the wetting or drying of the sample before test; higher values were obtained when the test was conducted in the drying process. The plastic limit seemed independent of the difference of the testing procedure.

Key words: Daisen Kurayoshi Pumice, soil particle density, liquid limit, plastic limit

1. 序論

鳥取県下では大山を起源とする火山噴出物が厚く堆積している。その一つである大山倉吉軽石(DKP)は自然含水状態で一旦乱すと水のように流動的となるほど鋭敏性の高い土であり、「水(みず)土」とか「味噌土」などと呼ばれている(図1)。

著者らはこれまでに、本試料は上述の鋭敏性ととも、含水比や間隙比および土粒子密度など物理的状態および性質の不均質性で特徴付けられることを明らかにしてきた[1]。またそのような不均質性に起因して、せん断強度にもばらつきが見られ、強度に対する間隙比や含水比など物理的状態の影響について研究してきた[1, 2]。さらにせん断試験直前に供試体のサクションを測定し、圧密によるサクションの変化挙動[3]やサクションとせん断強度の相関性を明らかにした[4]。

本研究では、物理試験として土粒子密度試験、液性・塑性限界試験を試料の取り扱い方法を変えて実施した。

本論文では、試料の物理的特性を決定するための試験方法について、特に乾湿の影響によるコンシステンシー限界への影響について詳細に述べる。

2. 試料

本研究で用いた試料は、鳥取県倉吉市和田で採取した不攪乱DKPである。試料は力学試験に用いるため、ブロックサンプリングおよびシンウォールチューブにより採取した。ブロックサンプリングは試料を粗削りして、立方形に成形した。試料に上下面の無い木箱(内寸15×15×20cm)をはめ込み、全て納まった後に地盤から切り離れた。箱の上下面および箱と試料の間隙はパラフィンでシールした。チューブサンプルはチューブ(内径7.5mm, 肉厚0.17mm, 高さ15cm)を直接地盤に貫入して採取した。

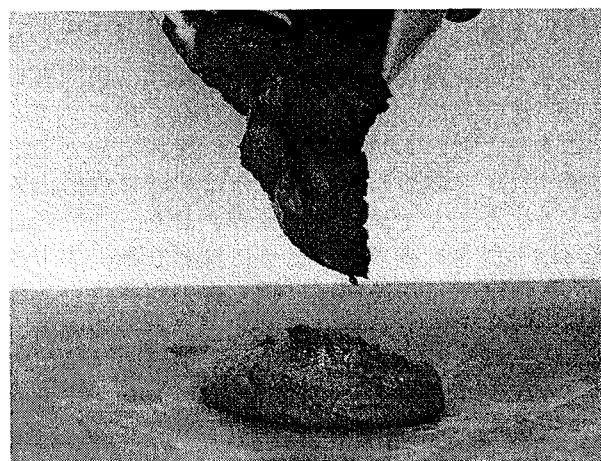


図1 自然含水状態で練り返した試料

図2に力学試験で用いた不攪乱試料の初期含水比 w_0 と初期間隙比 e_0 の関係を示す。含水比、間隙比ともに同一のサンプルでかなりのばらつきが見られる。含水比は 165~190% の範囲にあり、間隙比も 6.0~7.5 の範囲にあって非常に高含水、高間隙である。間隙比の算定には土粒子密度として 2.783g/cm^3 を用いた（詳細は後述する）。

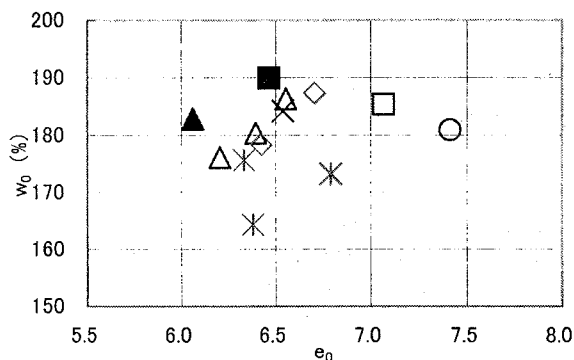


図2 不攪乱状態での間隙比と含水比の関係（マークの種類が同じものは同一のブロックサンプルであることを示す）

3. 物理的試験の方法と結果

3.1 土粒子の密度

用いた試料の状態は非乾燥とした。これは乾燥による団粒化で脱気が難しくなる恐れがあったためであるが、自然含水状態の試料はピクノメータに試料を入れる作業が非常に困難となる。脱気作業において、JGS0111 [5] に従う湯煎のみの方法では十分脱気することが出来ないようであるので、後述するような特殊な方法を行った。

試料の投入方法として、加水して液状にする方法（方法1）と気乾させる方法（方法2）を行った。投入方法1は、試料に水を加えて液状にしたが、本方法では比重の大きな黒色鉱物（角閃石）が底に沈殿してしまい試料を偏りなくピクノメータに入ることが不可能であった。投入方法2では、ピクノメータの口から入るような紐状に成形出来るようになるまで試料を気乾燥させた。この時、試料は乾燥させ過ぎないように注意した。本方法は、乾燥により気泡が抜け難くなる可能性があるが、方法1のような問題は生じない点で優れると思われる。

脱気方法としては、湯煎のみで行う方法、湯煎と真空脱気を併用する方法で行った。湯煎は、

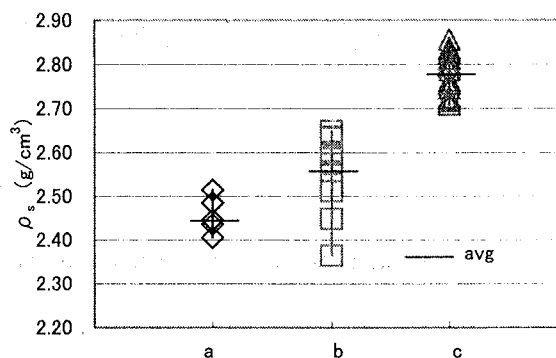


図3 土粒子密度の分布（a, b, c は試験名、表1参照）

表1 土粒子密度の比較

| 試験名 | a | b | c |
|--------------------------------------|-------|-------|---------|
| ピクノメータへの投入方法 | 方法1 | 方法2 | |
| 脱気方法 | 湯煎のみ | | 湯煎+真空脱気 |
| 平均土粒子密度 ρ_s (g/cm^3) | 2.457 | 2.557 | 2.783 |
| 試験個数 | 5 | 10 | 16 |

m_b （試料と蒸留水とピクノメータの質量）を測定する前段階として2時間行った。湯煎と真空脱気を併用する方法では、まず2時間湯煎し、常温まで冷ました後に真空脱気（絶対圧 20kPa で12時間）を行った。

方法1における平均土粒子密度が方法2に比べて小さいのは、比重の大きい角閃石を除外したことが影響していると考えられる。

湯煎のみを行った場合に得られた土粒子密度の平均は、過去の実験結果 [1] と比較して 0.2g/cm^3 程度小さな値となった。これは、脱気が不十分であったためと考えられる。

以上の結果から、本試料は湯煎のみでは十分気泡を取り除くことが出来ないと判断出来る。気体の法則から考察すると、湯煎において水の上限温度が 100°C のため、仮に気泡の温度が常温 20°C から 100°C になったとしても、気泡の体積はシャルルの法則により、1.27 倍程度にしかならない。一方、真空脱気は $1\text{atm}=101\text{kPa}$ （大気圧）から約 20kPa にまで低下させている。ボイルの法則より、気泡の体積は約5倍となるため、気泡は湯煎する

場合以上に大きな浮力を受けているため、脱気し易いと考えられる。

土粒子密度の値を用いる試験結果の整理では、投入方法2で湯煎及び真空脱気を併用した場合の結果である 2.783g/cm^3 を使用した。

3.2 コンシステンシー限界

用いた試料の状態は液性限界試験では湿潤および気乾状態の試料を、塑性限界試験では湿潤試料、気乾試料、乾燥試料を用いた。

(1) 液性限界

地盤工学会基準「土の液性限界・塑性限界試験 JGS0141」[5]では、液性限界試験においては、含水比を低下させて、加水しながら落下回数を測定するが、本研究では、次に述べる方法で減水過程試験と加水過程試験を行って両者の比較を行った。

本試料は、不攪乱状態では脆いが固体状を維持している。しかし試料を $425\mu\text{m}$ フルイで裏ごしすると状態は流動的になる。この状態の試料を気乾燥させる過程で随時、含水比と落下回数 (n) を求めた。以下、これを減水過程試験と呼ぶ。

一方、試験後の試料を用いて、JGS0141 [5]の方法に従い、所定の落下回数 n が得られるように試料の含水比を上昇させながら試験を行った。以下、これを加水過程試験と呼ぶ。

このような試験を同じブロック内の異なる部分から取った試料で2回行った (試験1, 試験2)。

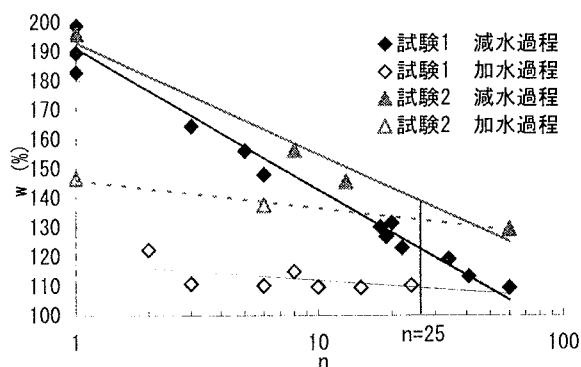


図4 流動曲線

表2 液性限界の比較

| | | |
|--------|-----|------|
| 減水過程試験 | 試験1 | 122% |
| | 試験2 | 140% |
| 加水過程試験 | 試験1 | 110% |
| | 試験2 | 132% |

尚、減水過程では一切水を加えず、乾燥過程でも、極めて少量の水を段階的に加えながら、加えすぎないように配慮した。

得られた流動曲線を図4に示す。加水過程試験では、落下回数 (n) に対して含水比がごくわずかしき変化しないため、流動曲線の傾きが小さくなった。

一方、減水過程試験では含水比の低下に従い、n が顕著に増加した。結果的に減水過程試験と加水過程試験では液性限界 w_L に平均 10%程度の差が生じた。また減水過程の最終測定点によって加水過程試験結果が大きく変化するという現象が見られた。

減水過程試験の欠点は、空気乾燥による含水比低下に時間がかかるため、一連の試験に非常に時間を要することにある。

(2) 塑性限界

塑性限界試験においても、液性限界試験同様、気乾燥させながら含水比を低下させる試験 (減水過程試験と呼ぶ) と、試料の初期含水比を減水過程試験で求めた塑性限界以下まで低下させて、加水しながら塑性限界を求める試験 (加水過程試験と呼ぶ) を行った。加水過程試験では、試験開始時の乾燥の程度による塑性限界への影響を調べるため、初期含水比を3通りに変えて試験を行った。即ち、含水比をそれぞれ 67%と 35%まで低下させた気乾状態の試料 A と試料 B、裏ごしした試料を炉乾燥させた試料 C である。

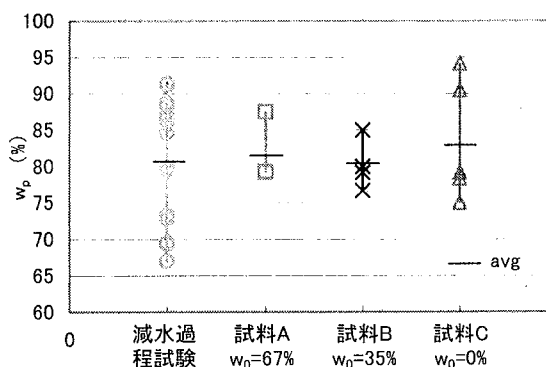


図5 塑性限界に対する試験方法の影響

表3 塑性限界の比較

| | | |
|--------|-------|-------|
| 減水過程試験 | 81.3% | |
| 加水過程試験 | 試料 A | 82.0% |
| | 試料 B | 80.2% |
| | 試料 C | 83.4% |

減水過程において、乾燥の程度が均一になるよう十分に繰り返しながら乾燥させた。減水過程試験では一切水を加えず塑性限界を求めた。加水過程試験では極めて少量の水を順次加えてゆき、加水し過ぎないように配慮し、十分な繰り返しをしつつ 3mm の紐が切れぎれになる含水状態に調整した。

図 5 に試験方法の違いによる塑性限界の分布を示す。表 3 に各試験から得られた塑性限界の平均値を示す。減水過程試験において、塑性限界は 30% 程度の範囲でばらつくため、繰り返し試験を行う必要があると考えられる。

減水過程と加水過程から求めた塑性限界の平均値の差はほとんど見られなかった。液性限界試験で見られたような試験前の乾燥度の影響は、塑性限界においては見られなかったと言える。

3. 3 粒度試験

試験は水中・全質量測定法 [6] で行った。これは、全てのふるい分けを水中で行い、全試料及び沈降分析用試料の乾燥質量を実際に回収した試料の炉乾燥質量から求める方法である。本方法は、含水比から乾燥質量を推定しないため、本試料のように含水比が不均一な試料に対して有効であることが確認されている [6]。

結果として試料は、60% 以上が細粒分で構成されているが、角閃石などで構成された礫分が数% 含まれていた。

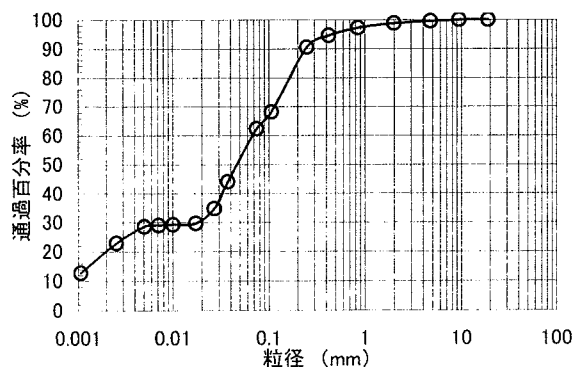


図 6 粒径加積曲線

4. 結論

(1) 土粒子の密度試験においては、湯煎と真空脱気を併用することが効果的である。

(2) 液性限界は試料の乾湿の影響を大きく受け

る。減水過程試験から求めた値は加水過程試験の値に比べて 10% 程度高くなった。

(3) 塑性限界に対しては乾湿の影響はほとんど見られないが、値が広範囲にばらつくため、試験回数を多くしなければ塑性限界を特定出来ない。

参考文献

- [1] 清水正喜：大山火山灰質土（DKP および DMP）の不攪乱試料のせん断強度特性，火山灰地盤の工学的性質の評価法に関するシンポジウム発表論文集，地盤工学会北海道支部，pp.187-192, 2002.
- [2] Shimizu, M.: Shear strength of undisturbed samples of weathered pumice soils, Advance in Geotechnical Engineering: The Skempton Conference, ICE, UK, Vol.1, pp.618-629, 2004.
- [3] 清水正喜・山本大輔：大山倉吉軽石・不攪乱試料の一次元圧縮時のサクシジョンの挙動，第 56 回土木学会中国支部研究発表会発表概要集，pp.299~300, 2004.
- [4] 清水正喜・山本大輔：大山倉吉軽石風化土のサクシジョン，含水比，せん断強さ，第 39 回地盤工学研究発表会発表講演集，pp.825-826, 2004.
- [5] 地盤工学会：「土質試験の方法と解説（第一回改訂版）」，2000.
- [6] 清水正喜：大山松江軽石（DMP）不攪乱試料の一面せん断試験による変形・強度特性と物理的性質，地盤工学会中国支部論文報告集，Vol.19, No.1, pp.17-25, 2001.

(受理 平成 16 年 9 月 30 日)