

### マイクロ CT スキャンによる軽石砂の土粒子密度の評価

(独) 労働安全衛生総合研究所 正会員 ◯吉川 直孝  
 University of Auckland 正会員 Rolando P. Orense  
 University of Auckland Michael J. Pender

#### 1. はじめに

New Zealand の北島中央部に位置する Taupo 火山帯において, Pumice sand (軽石砂) の堆積が見られる. 日本では, しらすに含まれている非常に軽い粒子がこれに当たる. これらの軽石砂粒子は, 多孔質であり, 粒子内部に多くの間隙を有し, 指爪の圧力で容易に破砕する. このため, 軽石砂をシリカ砂等の標準的な砂において規格化された土質試験法を適用するとその試験自体の困難さもさることながら, 試験結果の解釈も容易ではない. 一例を挙げると, Wesley(2001)<sup>1)</sup>は, 軽石砂の土粒子の密度試験において, 粒子サイズの減少とともに土粒子密度が増加することを述べている. これは, 粒子内部に多くの間隙を有しているからである. 図 1 に示すように, 本研究では, 土粒子内で空隙が閉塞している場合, その間隙を内部間隙(Internal Void)と定義し, それ以外, つまり間隙が外側表面まで到達している場合を表面間隙(Surface Void)と定義した. 軽石砂集合体の真の間隙比を評価するためには, 表面間隙と内部間隙を含まない固体の体積を求めることが重要になる<sup>2), 3)</sup>. また, 粒子が破砕しない場合, 粒子同士の間にある間隙のみを評価した集合体の間隙比を評価することが重要になる. そのためには, 粒子のかさばりの体積を求めることが重要である. そこで本研究では, University of Auckland にあるマイクロ CT スキャン装置を用いて, 軽石砂粒子の真の土粒子密度とかさばりの土粒子密度を評価する.

#### 2. マイクロ CT スキャンによる粒子内の間隙評価

マイクロ CT による軽石砂粒子のスキャン方法については, 他の文献に詳しい<sup>2), 3)</sup>. 図 2(a)は, 2 値化された画像を示し, 白色 (輝度値 255) で示される Voxel が固体部分を, 黒色 (輝度値 0) で示される部分が間隙を示している. 粒子の真の固体体積は, 白色 (輝度値 255) で表現される Voxel の数を数え, 1 つの Voxel の体積を乗じることにより算出される. 次に, 粒子のかさばりの体積を評価する方法について述べる. 図 2(a)に示す粒子は, 多くの表面間隙と内部間隙を有する. そこで図 2(b)に示すように, 境界追跡アルゴリズム<sup>4)</sup>により, 粒子の境界をトレースする. ここで, 粒子の境界の座標は Voxel 単位にて出力される. それぞれの Voxel 水平座標において, 粒子境界の最小値と最大値を取得し, その内部を白色 (輝度値 255) で塗りつぶす. このようにして, 図 2(c)の画像が出力され, 白色 (輝度値 255) の部分の体積を求めることにより, 粒子の

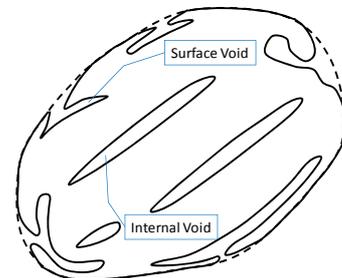


図 1 軽石砂粒子の模式図

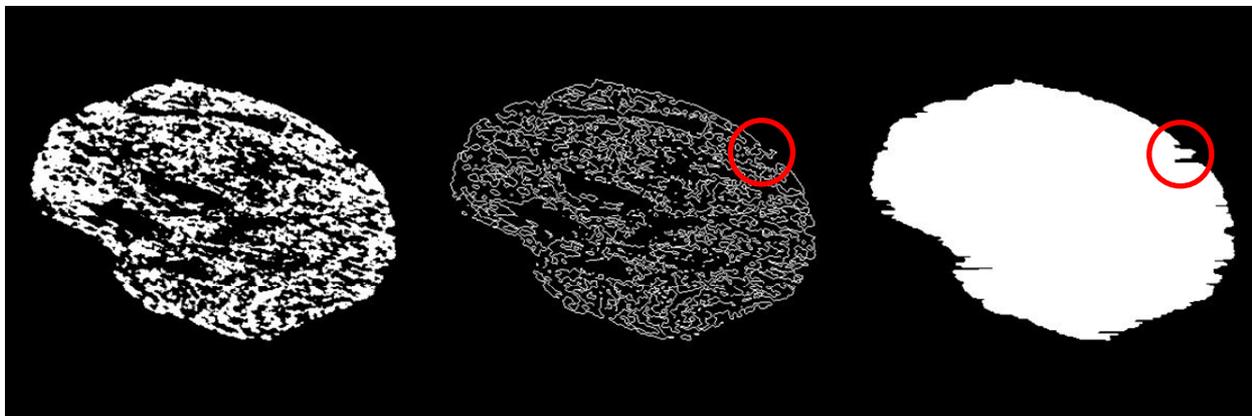


図 2(a) CT スキャンによる 2 値化画像, (b)境界の抽出, (c)土粒子のかさばりの体積の抽出

キーワード 軽石, 土粒子密度, 間隙, CT スキャン

連絡先 〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1 丁目 4-6 (独) 労働安全衛生総合研究所 TEL 042-491-4512

かさばりの体積が求まる．図中に丸で示したように，粒子表面の非常に細かな部分はよく表現されていないが，この体積は非常に小さなものと考えられる． $10^{-5}(g)$ まで計測できるはかりにより，土粒子の質量を計測し，これらの体積で除すことにより，真の土粒子密度とかさばりの土粒子密度が求まる．

3. 結果と議論

図3は，土粒子密度と粒子サイズの関係を示したものである．同図には，Wesley(2001)から得られた結果も示している．Wesley(2001)が標準的な方法にて土粒子密度を求めた結果，粒子サイズの減少とともに土粒子密度は増加している．図中のp1~p6の記号は粒子の番号を示している．例えば，p1と表記し点線で囲っているデータは同一粒子の真の土粒子密度とかさばりの密度を示している．本研究で求めた真の土粒子密度とかさばりの土粒子密度は，ばらつきはあるものの，ほぼ粒子サイズに依らず，一定値を示している．合わせて，図4，図5には，粒子サイズ1.18mm~2.36mmにて，30個の粒子をスキャンし，真の土粒子密度とかさばりの土粒子密度の平均値を求めた結果を示す．この結果，真の土粒子密度は $2.2g/cm^3$ と求まり，かさばりの土粒子密度は， $0.89g/cm^3$ と求まる．真の土粒子密度について， $75\mu m$ 以下の粒子を用いて標準的な方法で求めた結果( $2.34g/cm^3$ )とほぼ同様である．このことから，真の土粒子密度を求める場合，CTスキャンを用いる代わりに， $75\mu m$ 以下の粒子を用いた標準的な方法も有用である．

4. 結論

軽石砂の土粒子密度をマイクロCTスキャンにより評価した．その結果，固体部分の体積のみを考慮した真の土粒子密度は $2.2g/cm^3$ となり，かさばりの体積を考慮した場合，かさばりの土粒子密度は $0.89g/cm^3$ と求まった．この結果，軽石砂集合体の土粒子同士の間が存在する間隙のみを考慮した間隙比を求めることが可能となる．

参考文献

- 1) Wesley, L. 2001. Determination of specific gravity and void ratio of pumice materials, Geotechnical Testing Journal 24 (4): 418-422.
- 2) Kikkawa, N., Orense, R. P. and Pender, M. J. 2010. Characteristics of pumice particle using X-ray CT scanning, International Symposium on Geomechanics and Geotechnics, 10-12 Oct., Shanghai, China.
- 3) 吉川直孝ほか. 2010. マイクロCTスキャンによる軽石砂の粒子特性. 第45回地盤工学会研究発表会(投稿中).
- 4) 田村秀行. 2002. コンピュータ画像処理. オーム社: 151-153.

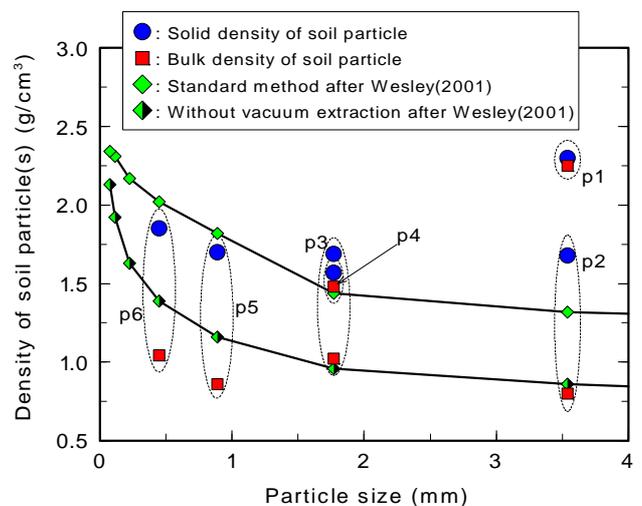


図3 土粒子の密度と粒子サイズの関係

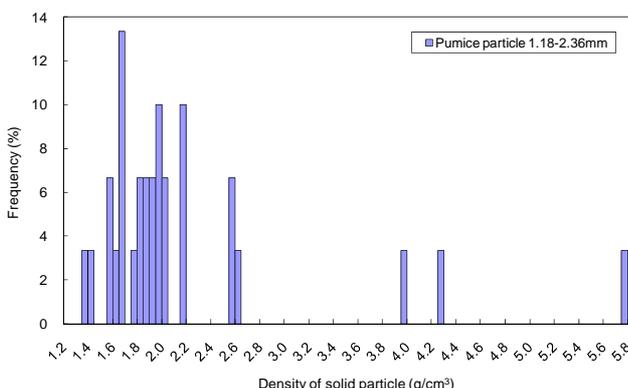


図4 真の土粒子密度の頻度分布

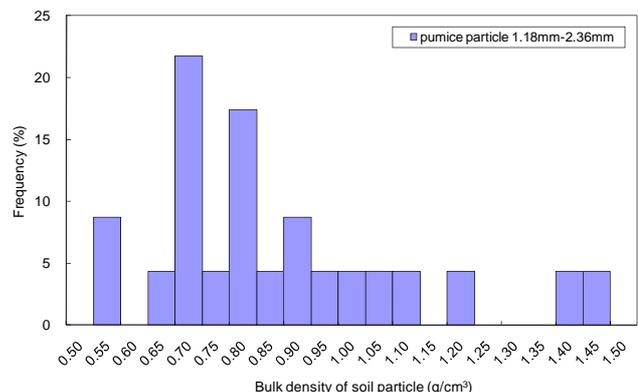


図5 かさばりの土粒子密度の頻度分布