

## LAT による粒状体内部構造評価とその精度

筑波大学大学院 学生会員 坪川 洋友  
 筑波大学大学院 学生会員 竿本 英貴  
 筑波大学 正会員 松島 亘志  
 筑波大学 正会員 山田 恭央

### 1. はじめに

地盤工学や粉体工学で扱う各種材料は、元々不連続な粒子の集まり(粒状体)であるが、工学上はその集合体(連続体)としての力学特性(変形、強度、流動性など)が問題とされる。近年、粒状体内部のマクロな変形とミクロな粒子運動についての研究が盛んに行われるようになってきた。そのひとつとして、LAT(Laser-Aided-Tomography)と呼ばれる3次元粒状体内部構造可視化手法が考案され、斜面の地震時安定問題や、地盤の支持力問題、液状化の問題など、様々な地盤工学上の問題に適用されている。しかし、この定量評価にはまだ課題を残している。

本研究では、精度向上を目指して新たに導入されたLAT画像解析手法によって得られた粒子情報および配列情報の精度を詳細に検討している。

### 2. LAT

#### 2-1 LATの原理

LATでは、ガラスブロックを粉砕して作成した粒子を、これと同一の屈折率を有するシリコンオイルで飽和させた試料を用いる。自然光の状態ではガラス粒子は見えなくなり模型は透明になるが、図1のようにシート状のレーザー光を模型内に透過させると、粒子表面での散乱現象により、粒子輪郭が浮かび上がり、内部の粒子配列を観察することができる。さらにレーザーシートを平行移動させ、模型をスキャンすることで3次元的な粒子配列情報の観察も可能となる。

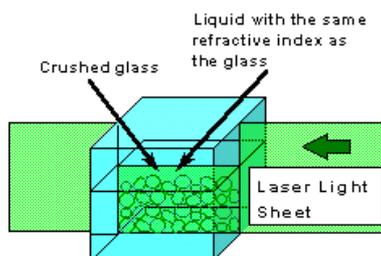


図1 LATの概要図

#### 2-2 粒子輪郭抽出方法

LATの精度を上げるうえでの最大の課題は、LATの画像より粒子輪郭を正確に読み取ることである。本研究では、人間の輪郭認識能力とLAT画像解析から得られる画像の特徴を最大限に活かしたアルゴリズムを開発した。このアルゴリズムは、粒子輪郭部分の輝度が最も高いことを利用し、図2に示すようにマウスポインタ近傍に設定される小領域の中で最も輝度が高い点を自動的に粒子輪郭とするものである。作業者が実際に行うのは、輪郭と思われる部分の近傍をなぞることだけであり、測定結果は熟練度にはほとんど依存しない。

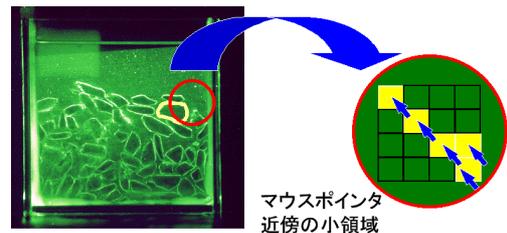


図2 輪郭抽出アルゴリズム

#### 2-3 3次元粒子情報の構成

図3は、前述の方法により得られた断面毎の粒子形状を示したもので、各断面の形状をつなぎ合わせることで、3次元の粒状体情報を得ることができる。

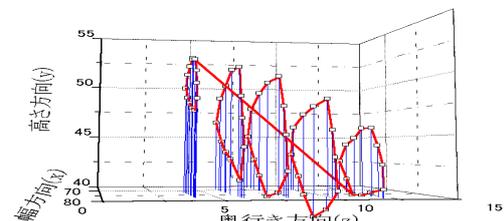


図3 3次元粒子情報の構成

### 3. 単一粒子解析

LATの精度を確認するために、様々な大きさ、形状の粒子を個別に画像解析し実測値との比較を行った。図4は、左にLATの画像により抽出した輪郭をレイ・トレーサ(povray)でレンダリングした3次元画像、右に同一の粒子

キーワード：LAT 粒状体 間隙比 画像解析

連絡先：〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学 機能工学系 tel 0298-53-5146

の写真画像を示して比較した一例である。図 5 は長軸約 2mm~20mm の粒子について、抽出データを元に長軸と体積を算出し、実物をノグスで計測した値と相対誤差の形で比較したものである。長軸約 3mm までの粒子については認識可能であるが、それ未満の粒子ではうまく認識できないことがあることがわかる。誤差の原因としては、レーザーシートが幅を持っていることに加え、ガラス粒子の傷、亀裂による光の反射などが挙げられる。



図 4 LAT 画像 写真画像

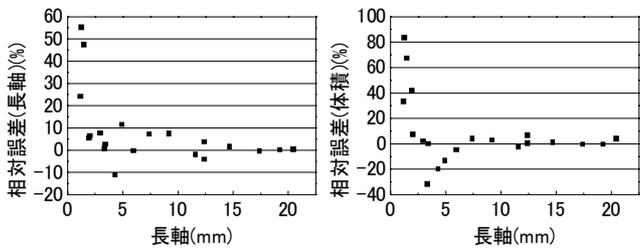


図 5 解析値と実測値との相対誤差

4. 3次元粒状体内部構造解析

ここでは、多数の粒子(粒径 2~5mm)を用い密詰め・ゆる詰め供試体を作成し、その一部を(縦 20mm\*横 20mm\*奥行き 25mm)LAT で解析し、再構成した(図 6)。



図 6 3次元粒子内部構造

4-1 間隙比

境界の影響を取り除く目的で、解析領域中に更にある大きさの小領域を設定し、その内部の間隙比を求めた。小領域の大きさを変化させると、間隙比は図 7 のように変化する。小領域の大きさが小さいときには局所的な影響が、大きいときには境界の影響が出るため、その中間で近似曲線が一定となる値を解析値とした。解析値は実測値に近い値となった。多少のずれの原因としては、多数の粒子塊の LAT 画像解析における粒子判別エラーや領域サイズが小さす

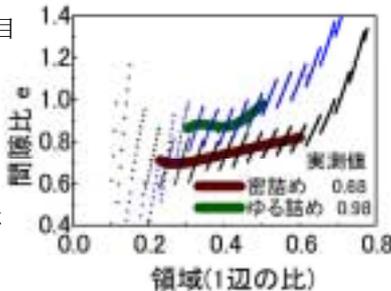


図 7 領域と間隙比の関係

ぎることなどが考えられる。

4-2 接点

図 8 は間隙比の計算と同様、境界の影響が出ないように解析領域中の小領域内部粒子を対象に、密詰め(35個)、ゆる詰め(12個)について粒子間距離を計算し、その距離の小さいものについて頻度分布を示した。密詰め・ゆる詰め共に、-0.025~0mm の頻度が極めて多くなっており、これらの粒子は互いに接触しているとみなすことができる。粒子間距離 0mm 以下のものを接触と求めて求めた各粒子の配位数を図 9 に示す。

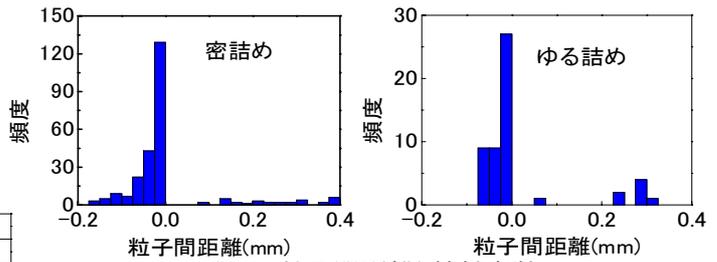


図 8 粒子間距離と接触点数

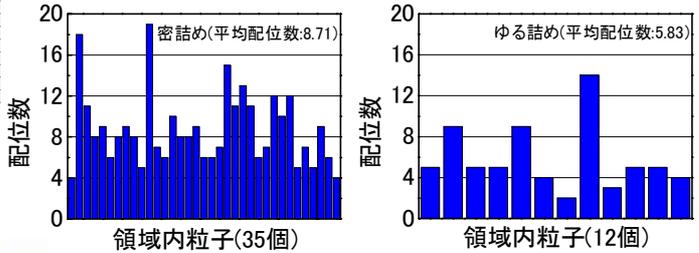


図 9 配位数

平均配位数は密詰め 8.71, ゆる詰め 5.83 となった。図 10 は間隙比と平均配位数の関係を示しているが、球状粒子を対象として求められた Smith ら<sup>[3]</sup> の結果と良く一致している。

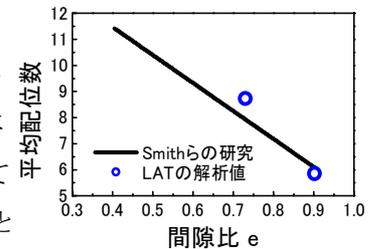


図 10 間隙比と配位数の関係

7. おわりに

- 1) 長軸 3mm 以上の粒子は、長軸・体積に関して相対誤差 10%以内の精度で測定することが可能である。
- 2) 画像解析より再構成した 3次元粒状体の間隙比は実測値に近い値になることがわかった。
- 3) LAT 解析によって求められた平均配位数と間隙比の関係は既往の研究結果と一致した。

参考文献

[1] Konagai, K., et al., Structural Engineering/ Earthquake Engineering, JSCE, Vol.9, No.3, 193s-201s, 1992  
 [2] 松島 亘志ら, 第 6 回コンピュータビジョンシンポジウム 論文集, pp.37-40. 2000(日経サイエンス 8 月号)  
 [3] Smith, et al., Packing of Homogeneous Spheres, Phys. Review Vol.34, 1271-1274, Nov.1