

Ⅲ-A37

LAT による 3 次元粒状体内粒子配列情報の画像解析

筑波大学 正 員 松島 亘志
 東京大学生産技術研究所 学生員 石井 高幸
 東京大学生産技術研究所 正 員 小長井一男

1. はじめに

粒状体のミクロな物性からマクロな力学特性を論じようとする「粒状体のマイクロメカニクス」にとって、実際の不規則形状粒子からなる粒状体の 3 次元粒子配列に関する情報は非常に重要である。これまで、樹脂固結させた供試体を切断し、その断面を観察する手法¹⁾や、X 線などを用いた方法²⁾などが試みられているが、効率性や技術的な課題、得られる情報が限られていること、などの問題が残っている。本研究では、3 次元粒状体内部の可視化手法である LAT を用いて得られる任意断面画像から、粒子配列などの情報を定量的に取得する手法を提案し、その結果の一部を示す。

2. LAT の概要

LAT (Laser Aided Tomography : レーザー援用トモグラフィ) ³⁾では、光学ガラスブロックを粉砕して作成した粒子を、ガラスと同じ屈折率の液体で飽和し、そこにシート状のレーザー光を通すことによって、透過面の粒子輪郭を観察することができる（図-1）。これまで、粒状体斜面や 3 次元地盤模型を対象として、粒状体の動的破壊メカニズムや負の間隙水圧の影響などの研究に適用されてきているが、構成粒子の配列や運動などの情報を画像から定量的に取得することが困難であることから、より高いレベルの研究への移行がなされていないのが現状である。そこで本研究では、単純な立方体の容器(10×10×10(cm))内に充填された粒径 10mm 程度の粒状体を対象として、その配列情報を図-2 のような画像データから取得する手法の検討を行った。

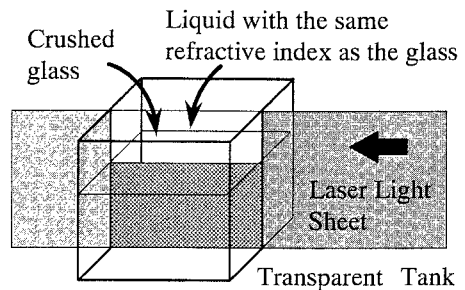


図-1 Laser-Aided Tomography

3. 画像処理のアルゴリズム

図-2 のような LAT 画像の処理において問題となるのは、輪郭に縁取られた黒い部分が粒子であるか void（間隙）であるかの判断である。これを完全に自動化することは現状のところでは困難であると考え、人間による簡単な操作を加えた、以下のような半自動アルゴリズムを採用した。まず、ある粒子について、その粒子中心付近の点 A およびそこからもっとも離れている輪郭上の一点 B をマウスによって指

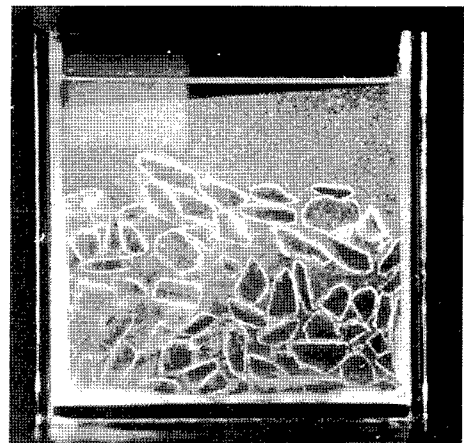


図-2 LAT によって得られる画像の例

示する。プログラムは線分 AB を B の方に若干伸ばした線分 AB' 上の Green の輝度を求め、点 B 付近での極大点 C₁を求める。次に A を中心に時計回りに線分 AB を微量回転させ、得られる新たな線分上で同様の操作を繰り返す。その際、隣接線分での点 C₁ 付近の極大点 C₂を探すことによって、連続した輪郭線を辿ることができる。このようにして得られた点 C_iをうち誤っている点をマウスで選択し、目視による修正点を入力する。これで 1 つの粒子（の 1 断面）に関する定量情報の取得が完了する。

上述の手順を1断面の画像中の全粒子について行なった後、その隣り合う断面の画像に関しては、既知断面の情報を基に、自動で輪郭抽出を行なう。最後に目視による修正を行なう。

4. 画像解析結果の例

図-4は図-2の画像の輪郭解析後の画像である。このように輪郭線を確定することで粒子の断面積や断面中心を容易に計算することができる。また、それを基に粒状体の局所的な間隙比を求めることも可能である。粒子形状に関しては、Fourier級数展開による方法[4]が形状の定量評価に有効であるが、形状のいかなる因子が、粒状体のマクロな物性に影響を与えるかは未だ明確でない。

また、複数断面の情報から得られた粒子の3次元情報より、粒子の長軸・短軸径や、長軸の方向角などを求めることができる。これについては、現在検討中である。

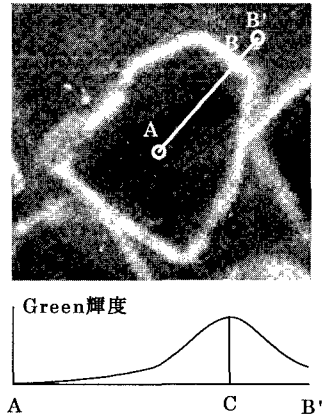


図-3 粒子輪郭抽出

5. おわりに

統計的な議論を行うためには、より細かい粒子の画像解析が必要となるが、そのためには、まず高品質の画像を取得することが不可欠である。またLATでは、ガラスと同じ屈折率の液体で供試体を飽和する必要があるが、ゆるづめ、密づめなど、さまざまな形成条件でのデータを比較する際に、いかに粒状体を乱さずに飽和できるかは、技術的に重要なポイントになる。気泡が混ざっているとその表面で光が散乱するなどして、解析可能な画像が取得できなくなるからである。

本研究では、ガラス粒子を用いることが不可欠であるが、その場合、砂や岩などの自然粒子との形状特性の違いが問題となる。本研究では、粉碎したガラスをボールミルにかけて形状加工を行っており、その加工時間を変化させることで、さまざまな形状の粒子について検討を加えることを目指している。

本研究の重要な発展として、外力が加わった場合の粒状体の変形についての検討が挙げられるが、これについては、現在LATを用いた平面ひずみ圧縮試験装置を開発中である。この場合も、供試体内の脱気が重要な課題となる。

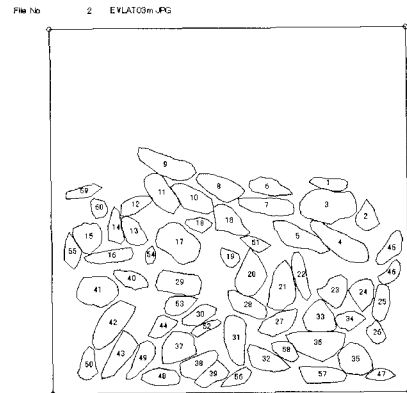


図-4 輪郭解析結果の例

参考文献

- [1] Oda M. (1972) Initial fabrics and their relations to mechanical properties of granular material, *Soils & Foundations*, 12(1), 1-18.
- [2] Han C. and Vardoulakis I. G. (1991) Plane-strain compression experiments on water saturated fine-grained sand, *Geotechnique*, 41(1), 49-78.
- [3] Konagai K. et al. (1992) Laser-Aided Tomography: A tool for visualization of changes in the fabric of granular assemblage, *Struct. Eng. Earthquake Eng.*, 9(3) 193s-201s.
- [4] 吉田輝(1994) 砂の破壊に伴う歪みの局所化とせん断層の発生、東京大学博士論文