

軟 X 線画像法によるガラスビーズおよび砂の粒径・充填密度・試料厚の評価

Evaluation for Particle Size, Packing Density and Thickness of Glass Balls and Sands by Soft X-ray Radiography Image Processing

○廣住豊一[†], 黒澤俊人^{††}, 成岡 市[†]

HIROZUMI Toyokazu, KUROSAWA Toshihito and NARIOKA Hajime

I. はじめに

土壌内部の団粒や間隙の形状および大きさ等の構造は、土壌の保水性や排水性等に大きな影響を与える。農作物のかんがいや排水等の栽培管理を適切に行うためには、土壌構造を適切に評価することが重要である。土壌の内部構造を非破壊で観察および測定する手段として、軟 X 線を用いる方法がある。この軟 X 線映像法は、これまで粗間隙の形状に対する評価が中心で、粒子配列等の土壌の骨格構造に対する評価にはほとんど用いられていなかった。そこで、軟 X 線映像が土粒子の重畳様式の投影であることに着目して、軟 X 線画像法を新たに開発し、その重畳様式をどのように表現できるか検討した。

本報では、粒径・試料厚・密度等の条件を変えて充填したガラスビーズおよび砂に対して軟 X 線画像法による解析を行い、その解析結果と試料の充填様式との相関について考察した。

II. 材料と方法

試料には、室内でよく風乾したガラスビーズ(以下、「ビーズ」とする)およびセメント用川砂(以下、「砂」とする)を供した。ビーズには、それぞれ 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0mm の 9 種類の粒径のものを、砂には、0.075~0.106, 0.106~0.250, 0.250~0.425, 0.425~0.850, 0.850~2.00mm の 5 段階の粒径に篩い分けしたものをそれぞれ使用した。

これらの試料を深さの異なるポリスチレン製矩形容器に均一充填し、これを軟 X 線撮影した。容器の寸法は、長さ 30mm, 幅 30mm, 深さは 3, 6, 9mm の 3 種類とした。軟 X 線撮影には、ソフテックス社の直流型 DCTS-7003 を使用した。撮影方法は、造影剤を使用しない単純撮影とした。撮影条件

は、管電圧 40kV, 管電流 1.5mA, 照射時間 60 秒, フィルム焦点間距離(FFD) 500mm に設定した。軟 X 線フィルムには、フジフィルム社の工業用 X 線フィルム IX-FR を使用した。撮影したフィルムの現像には、ニックス社の自動現像機 Hi-RHEIN を使用した。現像条件は、液温度 28 °C, 現像時間 3 分に設定した。フィルム上の映像を、エプソン社のフラットベッドスキャナ GT-X750 およびスキャナドライバ EPSON Scan を使用して、デジタル化した。そのスキャン条件は、カラーモード 16 ビットグレースケール, 解像度 1200dpi に設定した。デジタル画像は、縦 1024 pix × 横 1024 pix の大きさに切り抜き、これを画像解析に供した。画像解析には、INRIA(Institut National de Recherche en Informatique et Automatique, フランス国立情報学自動制御研究所)の数値計算システム Scilab-4.1.2 および Scilab 用画像処理ツールボックス SIP を使用した。解析では、軟 X 線画像の画素濃度(明るさ)に対して統計処理を行い、得られた結果と試料の粒径・充填密度・試料厚を比較した。画素の濃度は、黒を最小値の 0, 白を最大値の 1 とし、その間の濃度の変化を 65536 段階(16bit)に分割して表現する濃度階調値として処理した。

III. 結果と考察

(1) 試料粒径と濃度階調値の標準偏差

ビーズおよび砂における粒径 d と、その試料の軟 X 線画像に含まれる全画素の濃度階調値の標準偏差 σ_{gl} すなわち画像の粒状性との関係を 図-1~3 に示す。砂については、粒径範囲の中央値を試料の粒径とした。ビーズおよび砂のいずれにおいても、 d が大きくなるほど σ_{gl} が大きくなり、両者の間には強い相関があった。これは、粒径が大きくなるほど間隙

[†]三重大学大学院生物資源学研究所, ^{††}三重大学生命科学研究支援センター

[†]Graduate School of Bioresources, Mie University, ^{††}Life Science Research Center, Mie University

キーワード : 軟 X 線画像法, 土壌構造, 画像解析, 統計処理, Scilab/SIP

径が大きくなるため、これが濃度階調値のばらつきの大きさとなって軟 X 線画像に反映されたものであると考えた。また、ビーズにおいては、試料厚 t が 9mm のとき d と σ_{gl} の間にはほぼ直線形の相関があったが、 t が 3mm のとき d が 1.5mm 以上では d の増加にともなう σ_{gl} の増加割合が少なくなった。また、画像解析に供した正方形画像の寸法と、そのときの σ_{gl} との関係を図-4 に示す。いずれの粒径においても画像寸法 5mm 以下で σ_{gl} のピークがあり、その後ゆるやかに推移する傾向があった。これらのことから、粒径の評価にはある程度の試料厚および試料面積を必要とすると判断した。

(2) 試料厚・乾燥密度に対する濃度階調値(平均値)

乾燥密度 ρ に試料厚 t を乗じて求めた単位面積あたりの質量 $\rho \cdot t$ と、その試料の軟 X 線画像に含まれる全画素の濃度階調値の平均値 \bar{x}_{gl} との関係を図-5 に示す。ビーズおよび砂のいずれにおいても、 $\rho \cdot t$ が大きくなるほど、 \bar{x}_{gl} が大きくなる傾向があった。軟 X 線の透過および吸収については、主として原子番号・密度・試料厚の三者が大きく関係している。本実験では試料の構成物質は実験中変化しないため、試料厚および乾燥密度が濃度階調値に影響を与えるると判断した。

IV. おわりに

本報では、土壌構造を構成する基本的な要素である粒径・乾燥密度・試料厚に着目し、軟 X 線画像法によってそれらをどのように評価できるかについて検討した。その結果、軟 X 線画像の濃度階調値の標準偏差は試料の粒径に強い相関があること、濃度階調値の平均値は試料厚と乾燥密度に強い相関があること等が明らかになった。

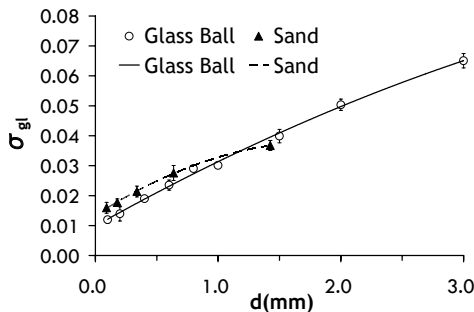


図-1 粒径 d と濃度階調値の標準偏差 σ_{gl} ($t=9\text{mm}$)

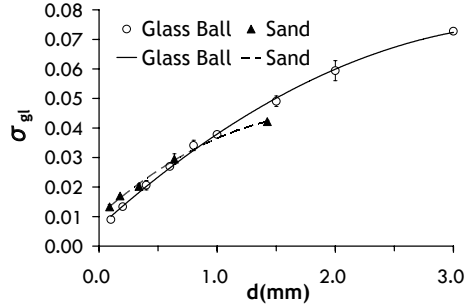


図-2 粒径 d と濃度階調値の標準偏差 σ_{gl} ($t=6\text{mm}$)

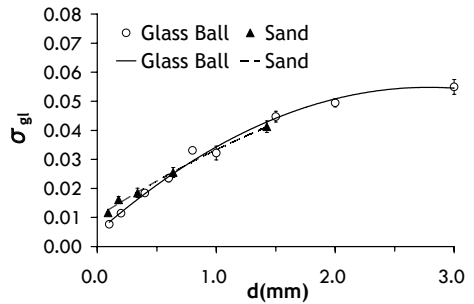


図-3 粒径 d と濃度階調値の標準偏差 σ_{gl} ($t=3\text{mm}$)

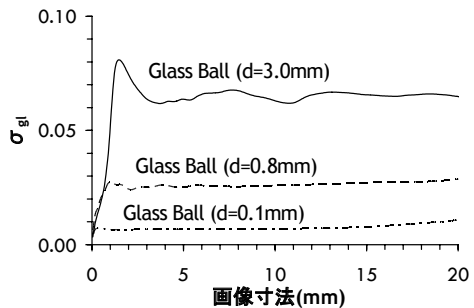


図-4 画像寸法と濃度階調値の標準偏差 σ_{gl} ($t=9\text{mm}$)

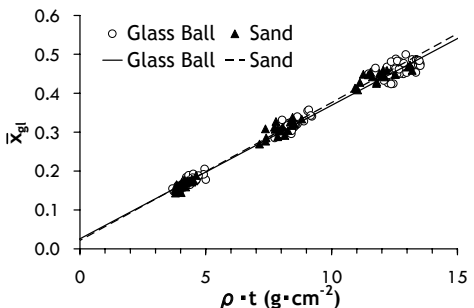


図-5 単位面積の質量 $\rho \cdot t$ と濃度階調値の平均値 \bar{x}_{gl}