

II-9

軟X線を用いた土粒子構造解析に関する基礎的研究

北見工業大学 正 員 中尾隆志
 北海道大学 正 員 藤田睦博
 北海道大学大学院 西村貴之

1. まえがき

著者らは土粒子を球形と仮定し、不飽和浸透流を解く場合必要となる θ (体積含水率)- ϕ (サクション)関係の理論的解析を行い、土壌構造が θ - ϕ 関係に大きく影響する事を示した¹⁾。従って、このモデルを実際の土壌に適用するには土壌内の充填構造を非破壊で知る必要がある。本研究の最終目的は軟X線による透過投影画像データから非破壊法により3次元物体の内部構造解析することであるが、この場合、大きく分けて2つの問題点がある。1つはいかに最適な投影像を取得するかという撮影上の問題であり、他方は得られた投影画像をいかに詳細に再生するかというアルゴリズム上の問題である。今回は後者のアルゴリズム確立のため、シミュレーションデータにより再現実験をおこなったのでその結果について報告する。

2. 軟X線による投影像からの内部画像の再生

軟X線はX線の波長域でも2Å以上の長波長域の比較的透過力の弱い電磁波である。このため解析対象物の制約を受けるものの装置が比較的簡単で廉価であるなどの特徴をもっている。特に放射線に関する法的規制が緩く、取り扱いが簡単なため誰でも容易に解析することが可能である。

投影像から3次元再生像を作成する場合、これを等間隔の平行平面で切った2次元断面面の集合体と考えるならば取り扱いは容易となる。従って、本研究ではこの各断面面に平行なビームを当てた時の1次元の投影群から2次元画像を再生し、それらを並べて3次元像を合成することとする。X線投影像から内部構造の解析が可能なのは以下の原理による。X線は物質内を透過すると減衰する。図-1に示すように、微小要素内の減衰係数 μ_i から成る要素群を考え、強度 I_0 のX線ビームが物質内に透過した場合を考える。この場合、ビームの出力強度 I_n は式(1)で与えられる。

$$I_n = I_0 \exp \left[- \sum_{i=1}^n (\mu_i \Delta h) \right] \quad \dots\dots(1)$$

式(1)を変形すると、式(2)が得られる。

$$\sum_{i=1}^n \mu_i \Delta h = \ln \frac{I_0}{I} \equiv I' \quad \dots\dots(2)$$

ここに、 I' は投影画像の濃度である。

このことより、各要素内の濃度の和が投影画像の濃度に変換されていることがわかる。従って、断面内の画像再生は投影像の濃度から内部の各要素に対する濃度を求める逆問題となる。投影像からの2次元内部画像の再生法にはいろいろな手法が提案されている²⁾が投影像に対するノイズの影響や必要とする投影像の数などから反復法の1つである代数的再生法(以下、ART法と称す。)を用いる事とした。ART法はその解を反復近似していく方法であるが、反復近似方法により式(3)による乗法的ART法と式(4)による加法的ART法の2種類がある。

$$A^{n+1}(i, j) = A^n(i, j) \frac{P_{k(\theta)}}{R_{k(\theta)}} \quad \dots\dots(3)$$

$$A^{n+1}(i, j) = \max \left\{ A^n(i, j) + \frac{P_{k(\theta)} - R_{k(\theta)}}{N_{k(\theta)}}, 0 \right\} \quad \dots\dots(4)$$

ここに $A^{n+1}(i, j)$ 、 $A^n(i, j)$ はそれぞれ $n+1$ 、 n 回目の断面内部の要素濃度、 $P_{k(\theta)}$ 、 $R_{k(\theta)}$ はX線ビームの経路 $k(\theta)$ の投影像の実際の濃度および計算から得られる濃度、 $N_{k(\theta)}$ はビームの経路 $k(\theta)$ に含まれる要素数である。

3. ART法による画像再生のシミュレーション

得られた投影画像から乗法的ART法および加法的ART法による再生画像の再現性を調べるため、図-2に示す物体形状を考え、図中(a)に示すように一様な減衰係数 μ から成る場合(Case 1)、および(b)に示されるように2つの減衰係数 μ_1 、 $\mu_2(=2\mu_1)$ からなる場合(Case 2)についてシミュレーションにより再現性の比較を行った。2次元断面画は投影画像を1辺80メッシュに分割し、 80×80 要素からなる。解析に用いた投影画像は1) A及びB方向からの2断面のみを用いた場合(RUN1)、2) A、B、Cからの3方向の投影画像を用いた場合(RUN2)および3) A、B、C、Dからの4方向の投影画像を用いた場合(RUN3)の3通りである。

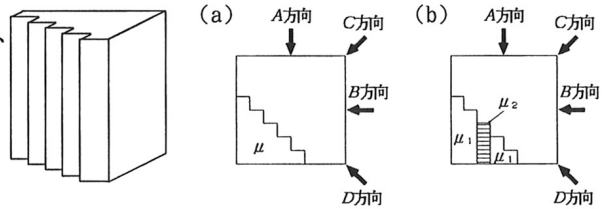


図-2 シミュレーションに用いた構造体

4. 結果および考察

本手法により得られた再生画像を写真-1(Case 1)、写真-2(Case 2)に示す。得られた要素内部の濃度値は画像上判定し易いように16段階の白黒濃淡により強調表示されている。本例における反復の収束判定は乗法的ART法では $P_{k(\theta)}$ と $R_{k(\theta)}$ の比の1%、加法的ART法では両者の相対誤差が1%以内になった場合、収束したものとして計算を打ち切った。再現結果より、必要な投影像は3断面以上である事がわかる。また、乗法ART法に比べ、加法的ART法がより明瞭に再生されており、特に2種類の減衰係数からなる場合(Case 2)では両者の再現の違いがよくわかる。

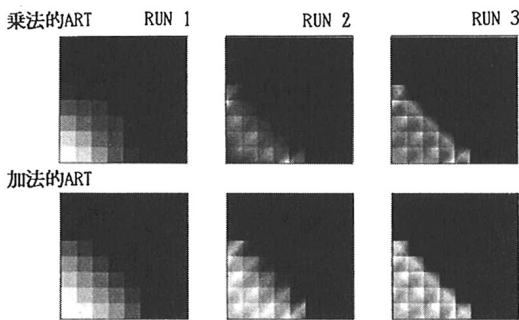


写真-1 断面画像再現結果(Case 1)

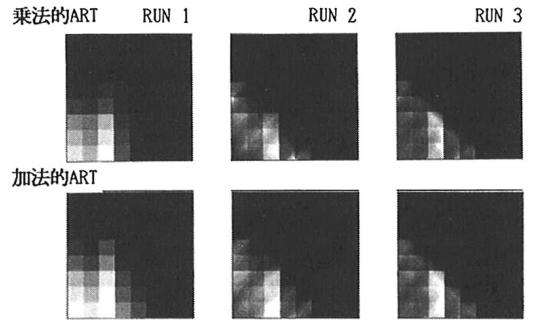


写真-2 断面画像再現結果(Case 2)

現在、著者らは実際に軟X線装置を用い、上記で得られた結果をもとに、最適投影像の取得方法について研究中である。

なお、本研究は文部省科学研究費試験研究B(代表者：藤田睦博)の補助のもとに行われた事を記して感謝の意を表す。

《参考文献》

- 1) 中尾隆志, 藤田睦博: 土壌水分特性曲線に及ぼす土壌構造の影響, 土木学会北海道支部論文報告集, 1994.
- 2) 若下正雄: 投影からの立体像再生, テレビジョン学会誌, Vol. 30, No. 4, PP. 321-326.