

異球径粒子からなる土壌の配位数のモデル化に関する研究 - 3次元数値シミュレーション法による考察 -

北見工業大学

正会員 中尾隆志

北海道大学大学院 フェロー会員 藤田睦博

1. まえがき 土壌が球状の異球径粒子から構成されると仮定される場合、土壌内の体積含水率(θ)とサクシオン(ϕ)の関係は2球間の距離と粒径比によって理論的に求めることができる。著者は土壌の粒径分布と間隙率が既知であるとして確率論的手法を用いることにより土粒子間の空間分布特性のモデル化を行ってきた¹⁾。

本モデルを用いて土壌全体の θ - ϕ 関係を求めるには、ある粒子の接合状況、すなわち土粒子1個あたりの他の土粒子の接合数(以下、配位数と称する)と粒径分布との関係を明らかにしなければならないが未だ解明されていないのが現状である。本報告では、最終的に粒径分布をパラメータとして、配位数をモデル化することを目的に3次元数値シミュレーション法により、配位数と構成される粒子半径の関係について考察を行ったのでその結果について報告する。

2. シミュレーション方法 半径1の単位球の表面上に予め準備しておいた球の半径範囲が0~2の間にある一様分布を持つ球をランダムに接触させていく。この時、新たに接触させた球がこれ以前に発生させた球と重なった場合、計算を打ち切り、これまでに発生した球の接触個数を配位数とし、これを一組のデータセットとした。また、配位数が2以下の場合、物理的に安定を保ち得ないので、データセットからは除外した。以下、上記の過程を繰り返し、合計2,000組のデータセットを作成し、これを解析対象とした。

3. シミュレーション結果と検討 図-1は全データセットの相対度数分布を示している。配位数の範囲は3~10の範囲にあり、配位数が大きくなるにつれ、急激に相対度数が減少している。全2,000個の配位数の平均および分散はそれぞれ、3.74, 0.97であり、特に配位数が10の場合は全ケース中1組しか存在しなかった。著者らは2次元の場合ではあるが、落下法によるランダム充填のシミュレーションモデルを作成し、一様分布の半径を持つ円の半径分布幅を様々に変化させることにより、円の平均半径と平均配位数および最大配位数の関係を調べてる²⁾。その結果、円の半径の平均値に関わらず、いずれも平均配位数は3.65~3.73の

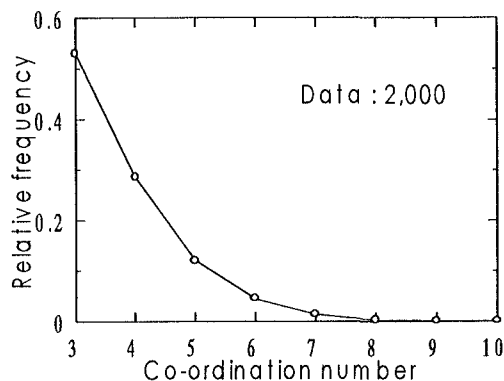


図-1 配位数の相対度数

範囲にあり、また最大配位数の値は9~12の間にあることを示した。以上のことから考えあわせると、充填する粒子半径の分布が一様分布型となるような配位数の最大値は次元に関わらず、10付近であり、平均配位数は3~4付近に収束すると考えられるが、この点に関して、今後さらに検討しなければならない。

図-2は得られたデータセットを配位数ごとにまとめ、各配位数の中で接触球の半径の最大値 $r_{\max}$ および各データセットの接触球の中で最も大きな球の半径を抽出し、配位数ごとに平均値を求め、その結果をプロ

キーワード：配位数、土壌構造、ランダム充填、粒径分布

〒090 北見市公園町165

TEL 0157-26-9503

FAX 0157-23-9408

〒060 札幌市北区北13条西8丁目

TEL 011-706-6197

FAX 011-726-2296

ットしている。データセット数が2または1個しかない配位数9, 10の場合を除き、各配位数を構成する球の半径の最大値は配位数が5までは分布幅の最大値2に近い値となっているがその後、配位数の増加に伴い $r_{\max}$ は減少する傾向が見られる。また、接触球の最大値の平均は採用した粒径分布幅の7～8割(1.4～1.6)の間に集中しており、この結果は先に述べた2次元ランダム充填のシミュレーション結果ともよく一致している。図-3は配位数ごとに全ての接触球の半径の平均とその分散の平均値を示している。上記と同様にデータ数が少ない配位数9, 10の場合を除き配位数の増加に伴い、接触球の半径の平均値が減少しているが、接触球の分散の平均はほぼ一定(0.24～0.29)の値となっている。このことは同一表面上に多くの球を接触させる場合、接触球は比較的球径の小さなもので構成されていることになる。これは見方を変えたと次のような考え方をすることもできる。一般に、球の半径が大きくなほどその表面積も大となり多くの球と接触することが可能となる。したがって、粒径分布を持つ球のランダム充填を考えると、最大配位数を持つ球の半径は半径範囲幅の最大値となる。しかしこのことは同時に、大きな球との接しやすくなることを意味している。球同士が互いに重なり合わないということから考えると、このことは接触効果を制御していることになる。したがって、配位数を球の半径でモデル化する場合このことを考慮しなければならない。

4. まとめ 本研究では一様分布を持つ半径群からなる球の接触シミュレーションを行い、配位数とこれを構成する球の半径の関係について考察を行った。本研究で得られた主要な結論を示すと、以下のようになる。

- 1)一様分布型を持つ球の半径分布において配位数が5程度まででは接触球の半径の最大は粒径幅のほぼ最大値を取るがその後、配位数の増加に伴い接触球の最大半径は減少する傾向がある。
- 2)配位数の増加と共に接触球の半径の平均値は減少する。この間、接触球の半径の分散の平均値はほぼ一定(0.24～0.29)であった。

一般に、土壌の粒径分布は対数正規分布を持つといわれており、今後はより実際に近い粒径分布でシミュレーションを行うことにより、著者らがもっとも関心のある平均配位数と粒径分布との関係をより明らかにし、モデル化を行う予定である。この研究は文部省科学研究費基盤研究(C)一般(研究代表者：中尾隆志)の補助を受けて行われたものです。記してここに感謝の意を表します。

—参考文献— 1) Nakao T.: A Statistical Approach to Analyzing the Fabric in a Random Assembly of Spherical Granules, Proceedings of The First Korea-Japan Bilateral Seminar on Water Resources and Environment Research, pp. 7-12, 1996. 2) 中尾隆志・藤田睦博：異球径ランダム充填の配位数の推定に関する研究，北海道支部論文報告集，第53号(B)，1997。

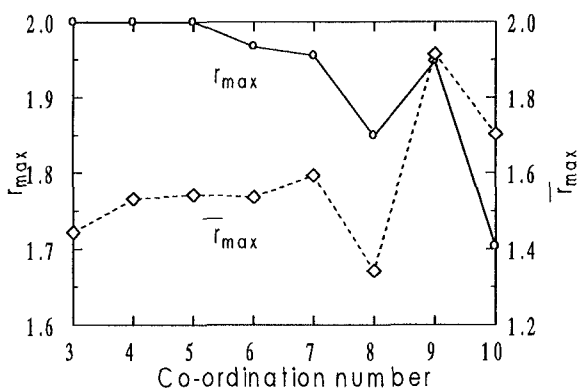


図-2 配位数ごとの接触球の最大半径と最大半径平均

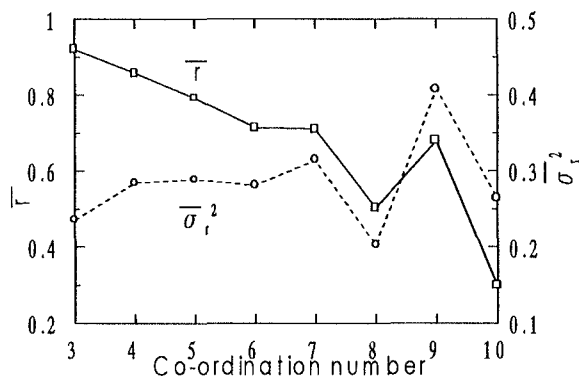


図-3 接触球の半径の平均、分散と配位数の関係