

論文の内容の要旨

論文題目 Statics of dry granular media: Microscopic description of the history dependent stress-strain relations

(和訳：粉体の静力学

—履歴に依存した応力歪み関係の微視的記述—)

氏名 稲垣 紫緒

背景：粒状体物質は、我々の身の回りにあふれている。公園や工事現場の砂山から、台所のコーヒー豆や調味料、粉状の胃薬や風邪薬、化粧品のファンデーションなど例を挙げれば尽きない。また工場においては、原材料の貯蔵、移動、粉碎、混合、加工、圧縮形成など、粒状体物質を扱う場面は多々ある。思いのままにそれらを扱うための知識は欠かさない。経験と試行錯誤によって、工場における粉体の取り扱いに関する問題はかなり解決されている。しかし、その振る舞いの本質的な理解はまだ浅い。近年になって、フランスやイギリスなどを中心に、物理としての粉体が広く興味をもたれるようになってきた。

目的：一見すると、粉体流動層は気体や流体として、粉体堆積層は結晶などの固体として、従来の流体力学や弾性体理論を適用できそうであるが、現象の説明・予測は困難な場合が多い。例えば、二体衝突を主な粒子間相互作用とするような希薄な粉体流においては、気体の分子運動論によってかなりよく現象を説明できる事がわかっている。一方、粒子が常に複数の粒子との接触を保ちながら移動するような体積密度の大きい流れでは、気体分子運動論は適用できない。静力学においては、巨視的な粉体媒質の物性が微視的な構成粒子の物性と異なり、状態から一意に決定することができない。その為、弾性体力学を用いた際に定量的な議論ができない。我々の研究の最終的な目的は、このような粉体特有の現象に対して、状態を記述する基礎方程式を確立することである。

平均場近似による連続体記述：粉体の履歴依存性と巨視的な媒質の物性との関係を明らかにする為に、二次元一軸圧縮の場合を想定し、平均場近似を用いて、従来の弾性体理論

において不定となる巨視的な構成方程式を再構築した。この際、局所的な情報として粒子配置や充填密度を与える。粒子配置は粒子の平均的な接触角度の確率分布として与える。まずは粒子配置と巨視的な応力や歪みの関係を明らかにし、粒子配置の履歴依存性をのちに定量的に評価するのがねらいである。

図2-1

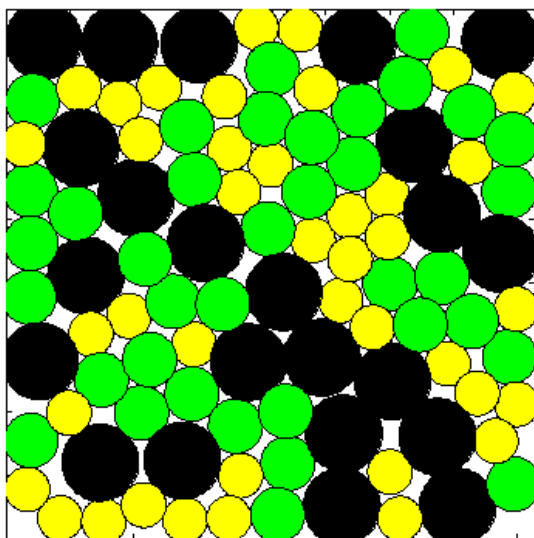
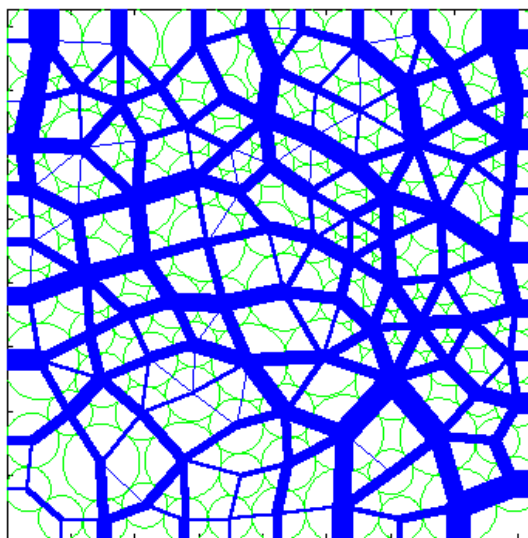


図2-2



数値計算：この連続体理論を検証するために、離散要素法を用いて重力下における粉体層を二次元空間に実現させた。(一例として粒子配置を図2-1に示す。)その応力と歪みを測定し、得られた応力と歪みの関係を先の連続体理論と比較検討する。図2-2は接触点における接触力の強さを太さに比例させて描いた接触ネットワークである。力が大きくかかっているところから、そのようなアーチに囲まれてほとんど力のかかっていないところまでディスクによってさまざまである。このように、粉体媒質内部は非常に不均一な状態になっている。このような不均一さによって、同じ構成要素からなるにもかかわらず巨視的には非常に広い範囲にわたる物性値を示すことがわかっている。円盤のつめ方によって、巨視的な物性値が変わるといふ、履歴依存性を数値計算で実現した。さらに、接触力の秩序変数の空間相関をみることによって、巨視的な物性値を特徴付けるような、状態量を提案した。このように、平均場近似では見落とされてしまう粉体（離散的な媒質）の特徴を定量的に評価することによって、粉体の構成方程式を再構築することを今後目指す。

発展：これまでの申請者の研究においては、粉体媒質の微小な変形について、弾性体理論の枠組みの中でどれだけ粉体の振る舞いが記述されるかを試みてきた。更なる目標としては、より大きな、粒子スケールの媒質の変形についても記述可能な、より一般的な粉体の基礎方程式を確立したい。