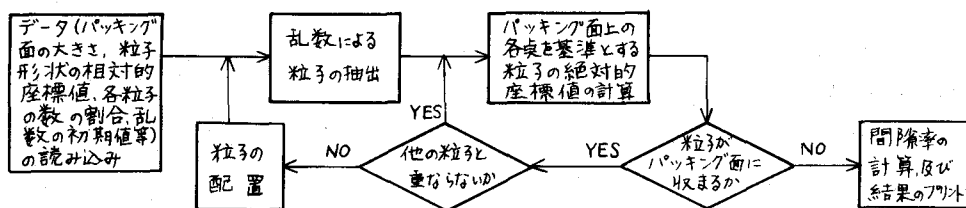


電子計算機によるパッキングのシミュレーションについて

東北大学工学部 正員 佐武正雄
 “ “ ○ 岸野佑次
 “ 学生員 村井貞規

1. まえがき 粒状体の力学的特性を把握する上で、まず、粒状体を構成する粒子の形や大きさ、更に各粒子の配合の割合や配列の仕方などの幾何学的な性質を知ることが重要であると考へられる。粒状体を微視的に捉えてそれらの観察を行なうことは、一見巨視的には意味のないことのように思われるが、例えば粒状体内部の空隙の割合などについては、粒状体を代表するようなある有限領域を適当にサンプリングすることにより、充分な精度を得ると考へられる。この微視的立場から、粒状体の二次元モデル(円形)のパッキングのシミュレーションを行なったものに村山らの論文がある。様々な粒状体モデルについて同様のシミュレーションを行なうには相当の手間がかかるため、著者らは電子計算機を用いた方法を考案した。ここでは、その方法と、それを用いた計算結果について述べ、実験との比較、考へを行なう。

2. 粒子のパッキングの方法 パッキングを電子計算機で行なうには、①まず、粒子の形状をデジタル化する必要がある。粒子の形状はそれを方眼紙に描いたときのマス目の重心の座標で表わす。粒子の形状や大きさも、ここで行ったシミュレーションではある有限個数の粒子によって代表させた。②次に、粒子の抽出を行なうために乱数をプログラムに組み込み、各粒子の組成割合に応じた確率により選び出す。③配列の方法は種々考えられるが、ここでは重力が作用した場合を想定して、ある粒子をつめるに当たっては、できるだけ低位置に置くこととし、その条件に当てはまる位置がいくつかある場合には、その内の最も端(左または右に固定)に近いものを選ぶことにした。このようにして、あらかじめ定めたパッキング面に粒子をつめることができなくなるまで続ける。計算のプログラムの流れの概略を書けば、下のようになる。



3. 具体的な計算例 2種類の円(半径比19:12)について行なった結果を示す。写真-1, 2 はそれぞれ計算結果とそれを実際の粒子模型によって再現したものを示している。計算結果で円が縦長に描かれているのは電子計算機のラインプリンターの縦、横のピッチが一致しないことによる。パッキング面を小円の直径の12.5倍を一辺とする正方形として何種類の計算を行なった。これにより得られた間隙率を表-1(○印)に示す。同程度の混合割合に対し異なったいくつかの値を示すのは、初期乱数値を幾種類かに設定したためである。

4. 実験 直径18mm, 12mmの2種の円筒(高さ約10mm)をそれぞれ塩化ビニルパイプ、アクリルパイプより切り取り、中に石膏をつめることで圧縮に対し補強をし、これを粒子モデルとした。2種の粒子数の割合を9種類変化させ、粒子総数を120個に固定し、一边が145mmとなるような長方形面につめた。これらの内、代表的なものを写真-3に示す。実験は決められた数の大小の粒を混ぜ合せ、長方形面のう辺を固定し、1辺を徐々に押し込みながら粒子を前後左右に動かし、粒子の自由度が極小となり押し込むことが殆どできなくなった状態で間隙率を求めた。各々の粒子の組合せに対し3回の実験の平均で求めた間隙率を表-1(○印)に示す。

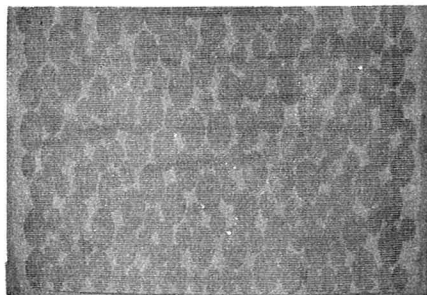


写真-1

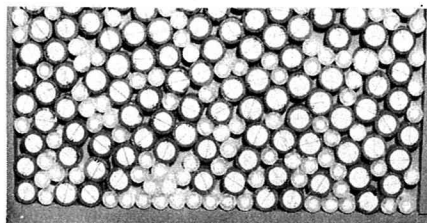


写真-2

5. 考察 表-1に示すように、大小の粒子の混合の割合による間隙率の差異はあまり認められず、実験値で平均21.6%であった。これは、両円の径の比が比較的接近しているためと思われる。計算値は両極端(全て小円、或は大円)を除き、ほぼ実験値より大きい値を示している。これは、パッキング面が粒子径に比し余り広くないので、境界の影響が出ているものと思われる。実験では写真-3のように上端をならすことができるが、計算ではこれを行っていない。又、計算に用いた粒子モデルの径の比が、実験のそれと幾分異なることも影響していると考えられる。

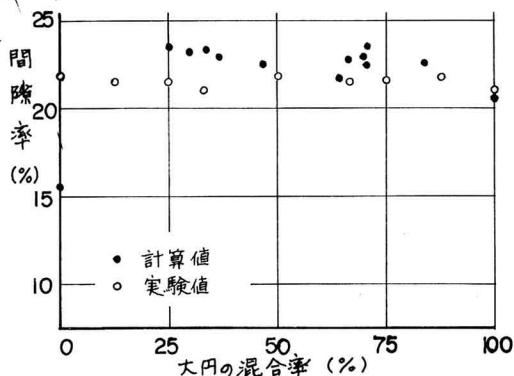


表-1

る。両極端の値、特に全て小円の場合、計算値が非常に小さい。これは3節の③に示した方法に従って整然とつめられたためであり、自然な配列というよりは偶然な配列と云えよう。計算、実験共にもっと粒の数とパッキング面の面積とを増やした状態について回数多く調べる必要があるが、本文で見る限りにおいてかなり良いシミュレーションを行なっている。

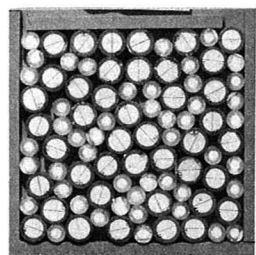


写真-3

6. あとがき 本文の計算では粒子形状は円のみを扱ったが、入力データを変えることにより任意形状の粒もパッキング可能である。計算により最終的なパッキングのパターンを決定するには、ある粒子混合割合に対し、乱数初期値を様々に変えて計算を行ない、そのヒンゲ分布を調べる必要がある。3節の③に述べた方法では比較的密な状態が求まるが、パッキングの過程で、特にアーチアクションのようなものをどのようにプログラムにとり入れるかが今後の問題である。今后は更に広汎なモデルについてシミュレーションを行ない、粒状体の特性についての研究を進めて行きたい。

参考文献 リ村山・松岡「粒状体のせん断現象の微視的考察」土木学会第24回学術講演会講演集(1969)Ⅱ-8