

III-419

数値解析による粒状体の基本特性に関する検討

清水建設(株)大崎研究室 正員 吉田 順

1. はじめに

個別要素法(以下DEMと略す)は粒状体を対象とした問題において近年よく用いられる手法であり、様々な報告がなされている¹⁾。しかし、円あるいは球要素を用いた粒状体解析において、変位・破壊性状が定性的に実現現象等に対応することは示されているが、定量的に妥当な結果はあまり示されていない。また、粒状体の基本特性に関してはかなり以前に最上²⁾により実験的・理論的な知見がまとめられており、粒子の配列とその組み合わせによる間隙率の差異等についても実験結果や理論的検討が示されている。本報告は、その実験条件を考慮したDEMシミュレーションを試み、実験結果に対する再現性やそのときのパラメータの設定について検討し、今後の粒状体解析の条件設定に資することを目的としたものである。

2. 解析条件

解析条件は、散弾をピーカーに詰めて行われた実験に基づいたもので、モデルとしては直径8cmのピーカーに粒径7.56mmの1200個の散弾をランダムに配置したが、粒子の最大高さは条件により9~10cm程度となった。材料物性は、鉛の物性を参考として設定したが、結果的には剛性および摩擦についてパラメータスタディを実施することとなり、各ケース毎に表-1に示す物性値を用いた。ただし、剛性は線形で与えているため、2球の接触に関するHertzの公式を考えた場合には粒子間の変形の小さいところでは過大に、大きいところでは過小に評価したような形となる。また、剛性のうちせん断剛性については垂直剛性の1/10と仮定し、摩擦については壁面での摩擦を粒子間摩擦の1/2と仮定した。

解析方法は、ある程度間隔を空けてランダムに配置した粒子群を重力加速度下で堆積させ、粒子の最大速度が1.0cm/sec以下となるまで計算を行なった。また、振動を加えて間隙の縮小を図ったが、そのときの振動は3秒間の水平一方向(正弦波)で、振動停止後これも粒子速度が1.0cm/sec以下となるまで計算を行なった。

3. 解析結果および考察

図-1にCase1の解析結果(鳥瞰)を示す。前述のように粒子速度が小さくなり、ほぼ安定した状態であるが、かなり空隙が大きく、間隙率は45.7%である。これは実際に散弾を詰めた場合の実現可能な間隙率35~45%程度という指標の上限となっている。剛性と摩擦係数をパラメータとして接触点数の分布を求めたものを図-2、3に示す。これらの図から剛性および摩擦係数が小さいほど粒子毎の接触点数が増加することがわかる。しかし、Case5までの解析は自重による堆積状態を計算したものであるため、振動を加えて間隙率を調整した実験値に比べると小さくなっており、図-4に示した実験値の平均値が7~8程度であるのに対して、最も接触点数の多かったCase5でも7程度であり、間隙率は37.8%である。ただし、これは実験の間隙率に比べ、かなり小さくなっており、接触点数と間隙率の関係はうまく再現されていない。

実験では振動により間隙率を調整していることを考慮して、Case1、4、5を加振した。Case4に対しては振幅一定で振動数を変えることによる影響を調べたが、振動数が大きい方が間隙率が小さくなることがわかった。また、振幅を大きくした場合にも間隙率が小さくなる結果が得られたが、さらに振動数および振幅を大きくしても振動の効果が現われない傾向が見られた。加振前後の間隙率の変化を表-2に、接触点数の分布を図-5に示す。間隙率はすべてのケースで小さくなっているが、接触点数はCase1v、5vはあまり変化しておらず、Case4vでは右にシフトして実験結果に近づく傾向にはあるが、やはり実験に比べると小さい値となっている。これらの結果より、DEMのパラメータの解析結果に対する影響について次のようなことが考えられる。今回の解析における粒子間力のレベルでは剛性の設定は $k_n=10^3\text{N/m}$ 程度が実験結果に対応しており、摩擦係数によっても解析結果は変わるが、今回設定した範囲ではその影響は小さい。

4. おわりに

3次元DEMを用いて粒状体の粒子間接触および間隙率などについての基礎的検討を行ない、力-変位関係(剛性)を線形とした今回の手法では剛性の違いに結果が大きく依存し、実験結果に対応する結果は $k_n=10^3\text{N/m}$ 程度で得られることがわかった。しかし、間隙率で見れば直接比較はできないものの解析結果の

方がかなり小さくなっているため、間隙率で結果を比較した場合にはもう少し大きい剛性の方が妥当な結果と考えられる。以上のように、完全に満足できる結果は得られなかったが、今後とも詳細な検討を行なうことにより、解析条件の設定のための有用な知見が得られるものと考えられる。

参考文献 1) 例えば、吉田順：個別要素法を用いた粒状体解析に関する基礎的検討，第24回土質工学研究発表会，1989，pp.1223－1224 2) 最上武雄編著：「土質力学」第8章粒状体の力学，1969，pp.893－1036

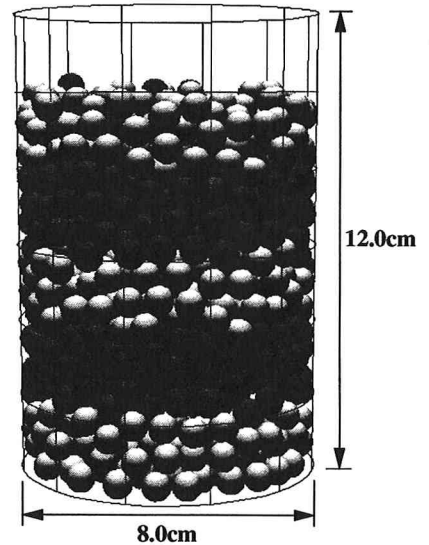
表－1 材料物性および解析ケース

ケース	物性	記号	単位	数値
共通	単位体積重量	γ	t/m ²	11.34
	比例減衰定数	β	sec	1.0×10^{-4}
Case 1	垂直(せん断)剛性	$k_n(k_s)$	N/m	$1.0 \times 10^5(10^4)$
	摩擦係数(壁面)	μ		0.50(0.25)
Case 2		μ		0.40(0.20)
Case 3		μ		0.30(0.15)
Case 4	垂直(せん断)剛性	$k_n(k_s)$	N/m	$1.0 \times 10^4(10^3)$
	摩擦係数(壁面)	μ		0.50(0.25)
Case 5	垂直(せん断)剛性	$k_n(k_s)$	N/m	$1.0 \times 10^3(10^2)$

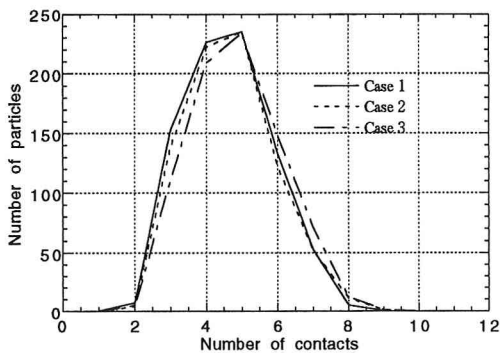
Case1v、4v、5vはそれぞれCase 1、4、5を加振したもの

表－2 各ケースの間隙率

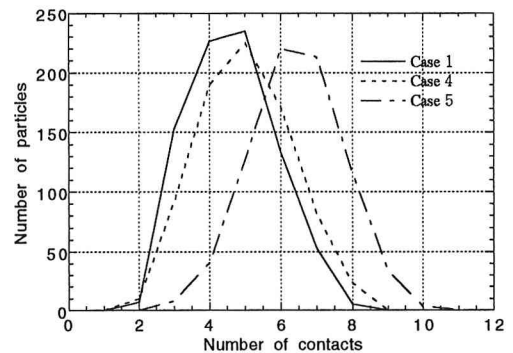
Case No.	1	2	3	4	5	1v	4v	5v
間隙率(%)	45.7	45.6	44.6	43.9	37.8	40.8	40.3	37.2



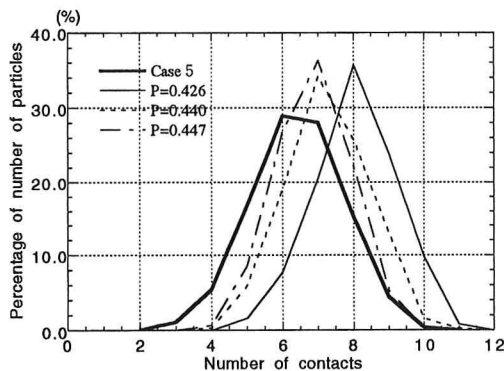
図－1 Case 1 の解析結果



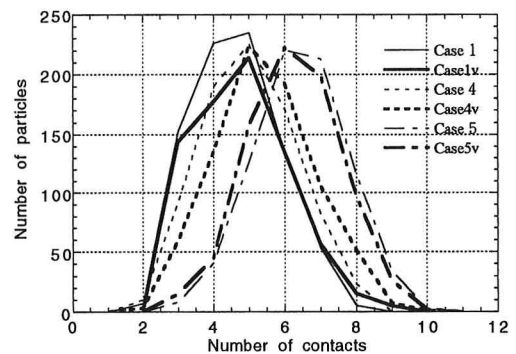
図－2 摩擦による接触点数の違い



図－3 剛性による接触点数の違い



図－4 実験結果との比較



図－5 振動前後の接触点数分布の変化