

III-420

DEMによる円盤要素集合体の流動解析シミュレーション

北海道大学大学院 学生員○高原利幸

北海道大学工学部 正会員 三浦均也

1. まえがき 個別要素法は、砂粒子のせん断過程などミクロ的な現象の解析を行うには有効な手法であり、最近の研究から丸棒材料を用いた実験との比較においては、かなりの精度で実現象を追跡できることが分かってきた。しかし、丸棒材料では流動実験などの大変形問題に対する実験を行うのは難しく、個別要素法の適用限界を明らかにするためにも、より広範な条件の下での実験との比較を行う必要があると思われる。そこで本研究では、薄い円盤要素を用いた流動実験を通して個別要素法解析との比較検討を試みた。

2. 模型実験 型内発泡法で作成された単位体積重量 0.02tf/m^3 の発泡スチロール(EPS)を用いて図1に示すようなEPS円盤要素を作成した。図に示すようにEPS円盤要素の上面には画像解析によって位置と回転を測定するために2個のターゲットが貼り付けてある。また、適度な重力を得るために約35gの鉛玉を中心に埋め込んである。

今回の実験では、手動により $0\sim 45^\circ$ まで斜面の角度を変化させることが可能な傾斜台を用いて行った。図2にその形状を示すが、斜面には全面にアクリル板が張ってある。また、斜面に対して常に垂直になるアームが取り付けられており、ここにビデオカメラを設置して実験の様子を撮影した。

流動実験に用いたモデルは図3に示すようであり、傾斜台の斜面上にあるストッパーの上に千鳥状に円盤要素を積み上げて、ストッパーを外すことにより円盤要素を流している。斜面下部には図示のようなスペーサー(アクリル板、 $25\times 25\times 4\text{cm}$)を左右に設けてあり、円盤要素はこのスペーサー間のみ下に流れ落ちることができる。また今回の実験では、予備実験より斜面角度は 20° とした。

3. 個別要素法解析 用いた要素形状は円盤と壁要素の2種類で2次元問題として解析している。表1に解析に用いたパラメータを示す。壁要素である傾斜台の縁、およびスペーサーの定数は同一とした。円盤要素同士および円盤要素と壁要素との間のバネ定数は、Hertzの弾性接触公式(無限円柱)を用いて、そのときの接触量から接触力を求め、法線方向のバネ定数 k_n を逆算している。接線方向のバネ定数 k_t は、予備解析の結果から収束性の良い $0.5k_n$ とした。粘性係数は、準静的な問題においては収束性を向上させる役割のみを担うと考えられるが、今回のような動的問題ではその影響は無視できないものである。今回は粘性係数マトリックスを $|C|=(2h/\omega)\cdot |K|$ として、固有円振動数 ω の値を変化させて解析を行い、その影響について調べた。ここに、 $|K|$ は

バネ定数マトリックスである。減衰定数は法線方向、接線方向ともに0.3とした。解析にはアクリル板と円盤要素間の摩擦も考慮しており、実験結果から静止摩擦係数を0.28、動摩擦係数を0.25とした。なお、解析プログラムは筆者らが独自に開発したものをを用いており、C言語で作成した。また、計算はパソコン上で行った。

4. 実験結果と解析結果の比較および考察 図4(a-d)に画像解析によって得られた実験結果を示す。また、解析結果については、固有円振動数の異なる2種類のケースについてのみ図5(a-d)および図6(a-d)に示すこととする。図5には $\omega=6.28\times 10^{-4}(\text{sec}^{-1})$ 、図6には $\omega=3.14\times 10^{-5}(\text{sec}^{-1})$ の場合の解析結果を示す。

図4を見ると、最下段の列の要素から次第にばらけて流れていく様子が分かる。また、同じ列の横同士の円盤要素の接触も少なくなり、個々の要素は独立しているが、全体的にはほぼ一様に流れて行き、最後には閉塞して

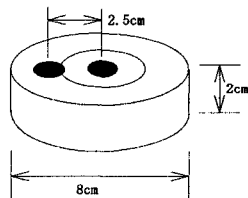


Fig. 1

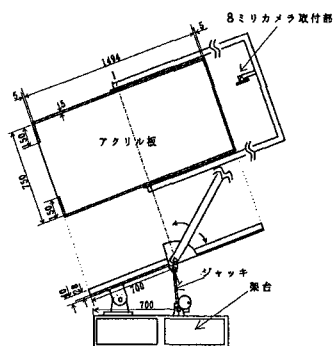


Fig. 2

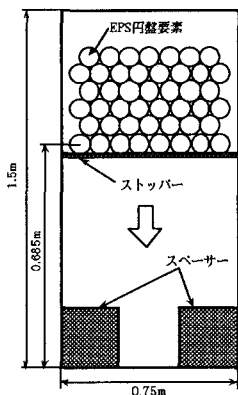
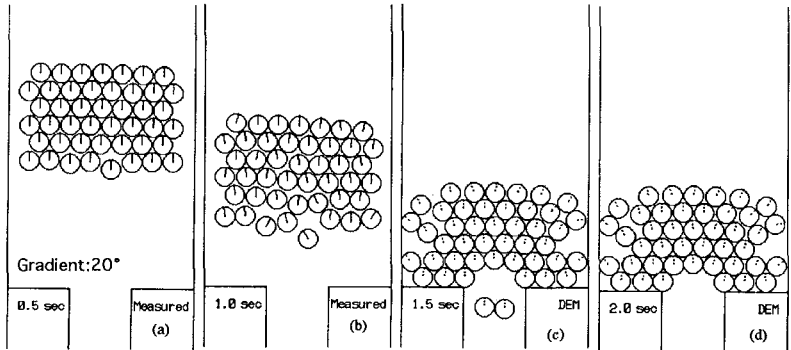


Fig. 3

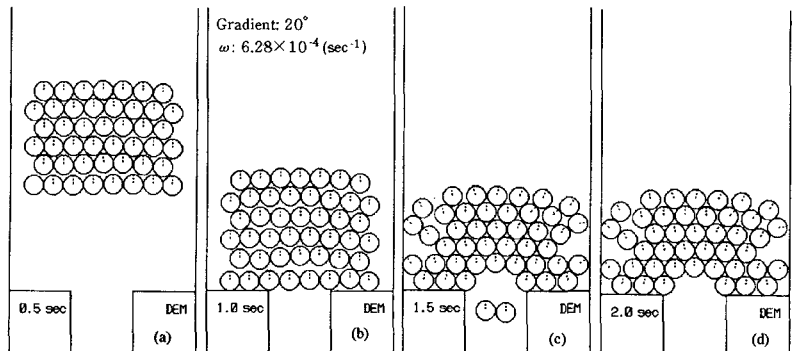
Table 1

	EPSP円盤要素	傾斜台枠
ヤング率(N/m ²)	6.0×10^6	2.1×10^{11}
ポアソン比	0.01	0.3
摩擦係数	0.64	0.64
密度(g/cm ³)	3.87×10^{-1}	
直径(cm)	8.0	

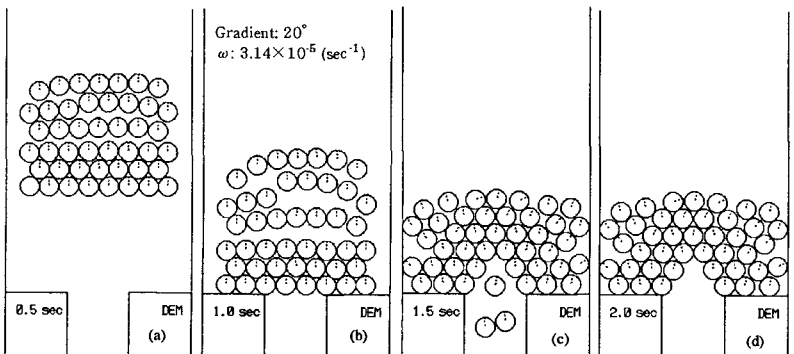
いる様子が分かる。全体に、やや右下がりに流れているが、これはストッパーのはずし方が一様ではなかったためと考えられる。次に、DEM解析結果との比較をして見ると、DEM解析は2ケースとも実験結果よりも落下速度が速いことが分かる。この原因は、実験において斜面角度が20°よりも小さかったためではないかと考えている。2種類の解析結果ともに、最後は閉塞しているが、図5と図6を比較して見るとその流動過程はかなり異なっていることが分かる。粘性係数の大きい図5では実験結果と同様に下の列から徐々に流れて行き、全体としては大きく離れることなく、一様に落下して行く様子を再現できているが、一方、粘性係数の小さい図6では下3列が一体となって先に流れて行き、上の3列が後から1列ごとに流れ落ちている。しかし、1.5秒以降の円盤要素の構成する形状は酷似しており、下から2段目



Figs. 4(a-d)



Figs. 5(a-d)



Figs. 6(a-d)

の中央の要素が流れ落ちるか否かが異なるだけである。また、解析においては列ごとの隣同士の要素間の接触がとぎれることが少なく、1列ごとに流れていく傾向があることが分かる。

以上の結果から、最終段階の挙動を把握するだけなら粘性係数はある程度の幅をもって考えて差し支えないと思われるが、流動過程を再現するためには、より特定の粘性係数を求めることが要求されることが分かった。

あとがき 粘性係数の決定はかなり難しい問題であるが、これを適当に定めることができれば円盤要素に対してもDEM解析は十分有効であると考えられる。円盤要素を用いることによって、幅広い条件下での実験が可能となり、広範囲でのDEM解析技術の向上に結び付くのではないかと考えている。

参考文献 (1)Cundall, P. A., and Strack, O. D. L. (1979); A Discrete Numerical Model for Granular Assemblies, Geotechnique, Vol. 29, No. 1, pp. 47-65. (2)三浦(1991); 粒状体の個別要素法における解析条件について、第26回土質工学研究発表会, pp.513-516. (3)発泡スチロール土工法開発機構 (1990); 発泡スチロール土工法技術資料・材料マニュアル