

III-B 395

粒状体の安息角形成に関する数値解析的検討

清水建設（株）和泉研究室 正員 吉田 順

1. はじめに

安息角は土質材料の特性として時には内部摩擦角に関連した定数として考えられるが、その理論的背景はあまり明らかにされていない。阪口ら¹⁾は安息角について実験を行ない、いくつかの知見を得ているが、実験方法によって得られる安息角が異なるため一般的な特性の内部摩擦角と直接比較することは問題があるとしている。ところで、個別要素法（以下DEM）は電算機の進歩により、種々の問題に用いられるようになって、円あるいは球要素を用いた解析において、実験の定性的なシミュレートは比較的容易であるが、定量的な評価はまだ難しい。本報告は、矩形の容器に粒状体を詰め込んだ簡易なモデルの側面を開いた場合の粒子の挙動について検討し、その際に形成される安息角および粒子の動きの評価について述べるものである。なお、シミュレーションは2次元・3次元解析の両方を行ない、その結果を比較するとともに、3次元では摩擦係数の影響についても検討している。

2. 解析モデルおよび条件

表-1 材料定数

物性等の条件は、表-1に示すもので、ガラスビーズのような材料を想定している。解析は幅4cm、高さ5cm、奥行き1cm（3次元）の矩形の領域を設定し、その中に直径1.0～2.0mmの粒子を2次元では800個、3次元では5000個をランダムに配置した後、まず重力加速度下で堆積させ、釣り合いに至るまでの解析を実施した。つぎに、側面の境界を幅12cm位置まで後退させ、粒子層の崩壊の様子を追跡した。解析は粒子の動きが収束するまで実施したが、2次元では40,000step、3次元では50,000stepの解析となった。これは1step当りの時間増分が 1.0×10^{-5} 秒であることから、実時間ではそれぞれ2次元で0.4秒、3次元で0.5秒間に当たる。ただし、2次元・3次元の比較は $\mu=0.50$ のケースである。

物性	記号	単位	数値
単位体積重量	γ	g/cm ³	1.0
比例減衰定数	β	sec	4.0×10^{-5}
垂直(せん断)剛性	$k_n(k_s)$	dyn/cm	$5.0 \times 10^5 (1.0 \times 10^5)$
摩擦係数(壁面)	μ		0.50, 0.70 (0.25, 0.35)

3. 解析結果および考察

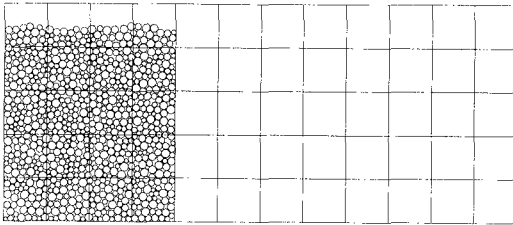
図-1に2次元、図-2に3次元の初期および最終状態を示す。初期状態は図-1と図-2で堆積高さに若干の差が見られるが、ほぼ対応した状態となっていると考えられる。流動後の最終状態は、2次元ではほとんど斜面の傾斜がなくなっており、特に左から7cm以上の位置ではほとんど水平な堆積状態となっている。傾斜の残っている左側の部分の角度は約10°である。これに対し、3次元の最終状態はかなり大きい傾斜を示しており、最大で26°程度の斜面角度であり、平均的にも20°程度となっている。流動の軌跡を表した図-3・図-4では表面の包絡線の形はともに下に凸な曲線を示しており、両者の流動方向自体はあまり変わらないことを示している。この図で、左下隅の軌跡の空白域がサイロ等で死領域と称される動きのほとんどない部分であり、安息角の測定方法の排出法²⁾で得られる安息角はこの死領域の傾斜角である。動きの小さかった（最大粒径の2.0mm以下）粒子だけを図示した図-5・図-6では2次元で図示された粒子が28個（3.5%）と非常に少ないに対し、3次元では1522個（30.4%）と多く形成された斜面の傾斜角は約40°である。これは当然前述の26°よりもかなり大きく、安息角はその定義方法によってかなり異なることが示された。摩擦係数の影響を見るために図-7に示した $\mu=0.70$ の場合に、傾斜角は図-2とあまりかわらないため、流動後に形成される斜面の角度と摩擦係数の間の相関はあまり強くないと考えられるが、図-8の死領域の角度は45°と大きくなっており、摩擦係数の影響が認められる。

4. おわりに

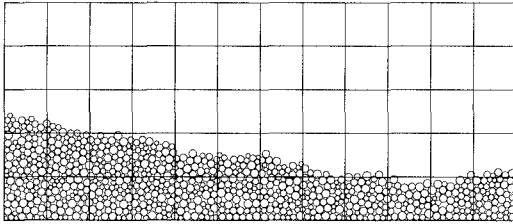
個別要素法を用いた解析により安息角の形成について検討したが、2次元解析では安息角を得ることが難しいことが明らかとなった。また、3次元解析で安息角の形成は追跡可能であったが、その結果の解釈により安息角はいろいろな値を持つことになるため、今後種々のパラメータを考慮した検討が必要である。

参考文献

- 1) 阪口他：土木学会論文集, No.551/III-30, pp.221-227 2) 粉体工学便覧：6.流動, 6.2.1 重力流動, pp.143-144, 1986

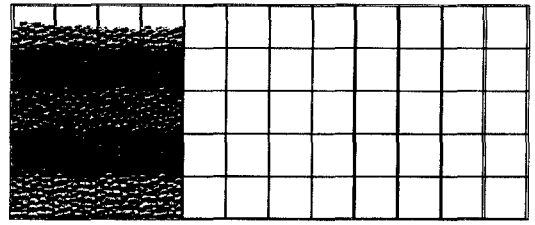


(a) 初期状態

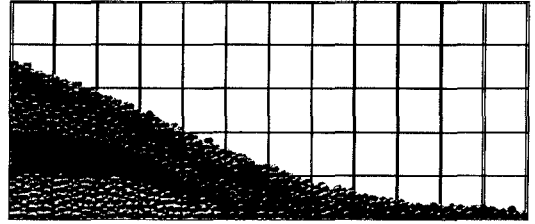


(b) 最終状態（40,000step後）

図-1 2次元解析結果



(a) 初期状態



(b) 最終状態（50,000step後）

図-2 3次元解析結果

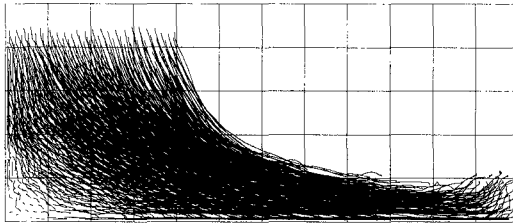


図-3 粒子流動の軌跡（2次元）

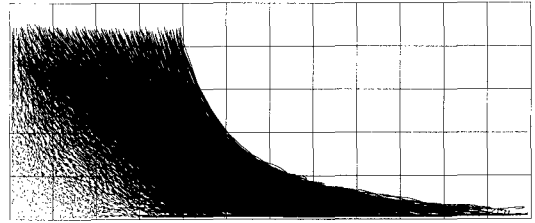


図-4 粒子流動の軌跡（3次元）

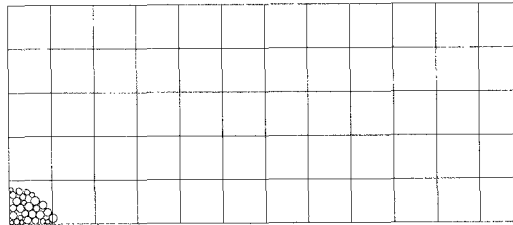


図-5 静止粒子（2次元）

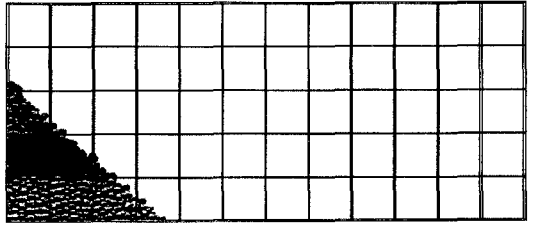


図-6 静止粒子（3次元）

すべての図で格子サイズ=1.0cm×1.0cm、3次元では奥行き1.0cm

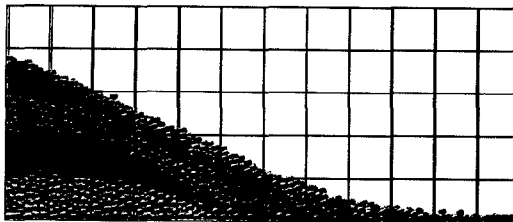


図-7 最終状態（ $\mu=0.7$ ）

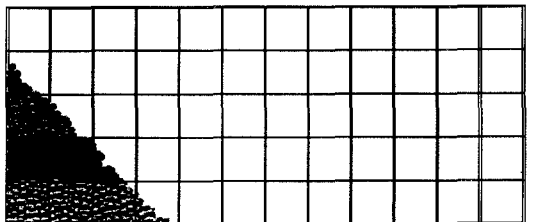


図-8 静止粒子（ $\mu=0.7$ ）