

個別要素法における物理パラメータ決定のための研究*

八戸工業大学大学院 橋本 憲二
 八戸工業大学大学院 小笠原 亮介
 八戸工業大学大学院 高瀬 慎介
 八戸工業大学大学院 金子 賢治

1. はじめに

今日、災害シミュレーションは防災・減災に対して非常に重要なツールである。特に日本においては、国土の約7割は山・丘陵であり斜面災害の発生数が非常に多い。世界でも有数の斜面災害多発国である日本において、斜面崩落の危険性が高い地域では斜面崩壊シミュレーションが利用されている。特に、土砂流動のような不連続体を対象としたシミュレーションに適用可能な手法の1つとして、個別要素法が挙げられる。

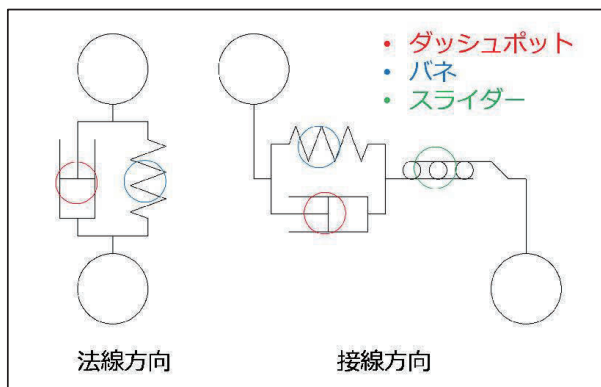


図-1 数値モデル

個別要素法は離散体のシミュレーションにおいて最も一般的な解析手法であり、個々の粒子の運動を計算することで粒子群全体の挙動を解明する事ができる。この方法では、粒子と粒子の接触点に図-1のような数値モデルを導入することで接触力の計算を可能にしている。粒子同士、もしくは粒子と壁面が衝突する際に発生する接触力は、接触点の法線方向と接線方向に分解され、法線方向にダッシュポットとバネ、接線方向にダッシュポットとバネおよびスライダーを考慮して計算する。この数値モデルにおいて、バネは弾性係数、ダッシュポットは減衰係数、スライダーは摩擦係数を意味している。求められた接触力により粒子の接触後の運動は決定され、時間増分 Δt 毎に計算が行われていく。時間増分 Δt は粒子の質量 m と数値モデルのバネ定数 K により求められ、時間増分 Δt とバネ定数 K は式 (1) のように反比例関係にある。

$$\Delta t = 2\sqrt{\frac{m}{K}} \tag{1}$$

解析するにあたり、時間増分 Δt を小さくして解析結果の精度を良くすることはできるが、その分計算量は増加し、解析に必要な時間も長時間となる。しかし、既往の研究により、時間増分 Δt をある程度大きくする、即ち、バネ定数 K をある程度小さくしても解析結果の精度に影響しないことが分かっている。バネ定数 K の値次第では計算コストを削減でき、今後の災害

*Studies to determine physical parameters in Distinct Element Method by Kenji Hashimoto, Ryosuke Ogasawara, Shinsuke Takase, Kenji Kaneko

シミュレーションの大規模化・高精度化が望める。よって本研究では、解析精度に影響しないバネ定数 K の範囲を具体的に調査する。

2. 実験概要・結果

ベンチマーク実験として、粒子モデルと斜面崩壊実験装置を使用し斜面崩壊を発生させ、斜面の安息角を計測した。この実験の再現解析を行い、安息角を実験結果と比較することで、バネ定数 K の妥当な範囲を調査する。

粒子モデル (図-2) は 3D プリンターで作成したものを使用した。球を 4 つ組み合わせたテトラ型をしており、直径は約 10mm、材質は硬化性樹脂の物を使用する。実験装置の中に粒子モデルを高さ 100mm になるまで敷き詰め、上部が平らになるように均す。(図-3) 実験装置の前面の板を上をスライドさせることで、斜面崩壊を起こすことができる。(図-4) 斜面崩壊後、実験装置の中から粒子モデルをすべて取り出し、袋の中に戻して 1 回の実験を終了とする。1 度袋の中に戻すのは、同じ粒子モデルで何度も実験を繰り返すことで、実験に不確かな要因を発生させないためである。また、実験装置の底面に粒子モデルが溜まり続け、斜面形状に影響を与えないようにするためでもある。実験回数は、安息角のバラツキを考慮するため 100 回行った。

事前実験により、崩壊後の斜面形状を大きく 2 種類に分類できることが分かった。粒子モデル上部の一部が底面と水平になっており途中から斜面になるパターン A (図-5) と、粒子モデル上部全てが斜面になっているパターン B (図-6) である。

本実験では、この 2 パターンに対応できるように安息角も 2 パターン計測した。安息角の計測方法は、斜面の画像に座標を与えて角度を導く方法を採用した。本実験では、斜面の始点と終点の座標を 2 パターンで測定し、三角比を用いて安息角を導いた。

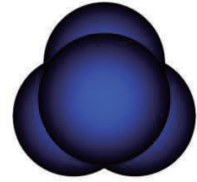


図-2 粒子モデル

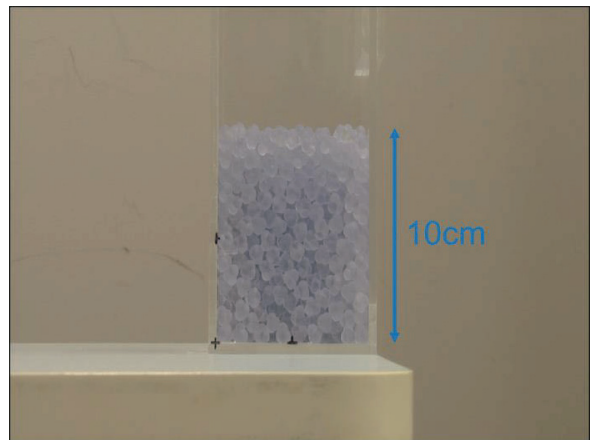


図-3 斜面崩壊前

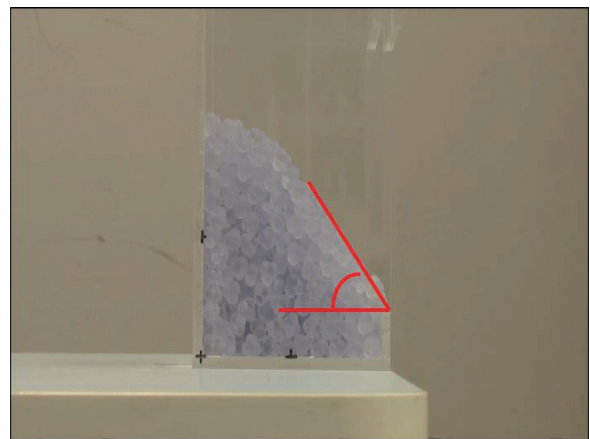


図-4 斜面崩壊後

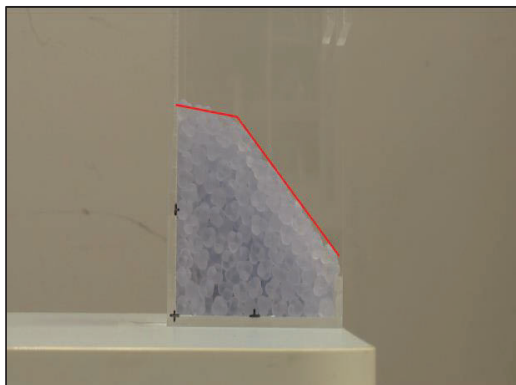


図-5 実験結果 (パターン A)

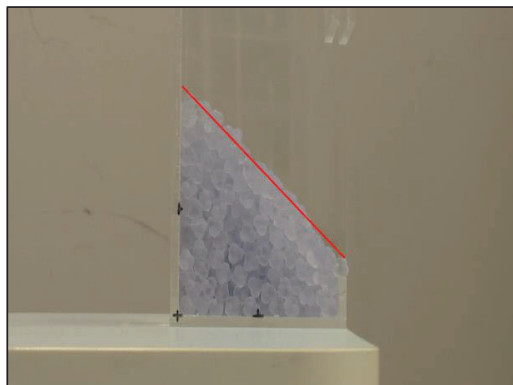


図-6 実験結果 (パターン B)

100 回の実験データをパターン別に安息角を計測し、ヒストグラムで整理した。整理した結果を図-7、図-8 に示す。パターン A の最小安息角は 38.0 度、最大安息角は 55.9 度、平均安息角は 46.7 度となった。パターン B の最小安息角は 36.2 度、最大安息角は 41.4 度、平均安息角は 38.4 度であった。最小安息角はどちらも同じような値となったが、最大安息角はパターン A が 14.5 度大きく計測された。パターン B のヒストグラムは正規分布になったが、A は角度がやや偏った。再現解析でも同じようなヒストグラムになるかどうかを検討する予定である。

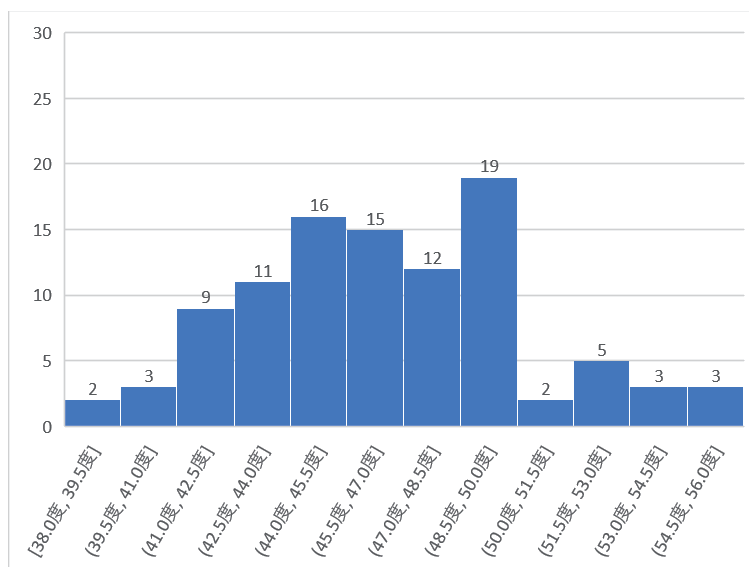


図-7 ヒストグラム (パターン A)

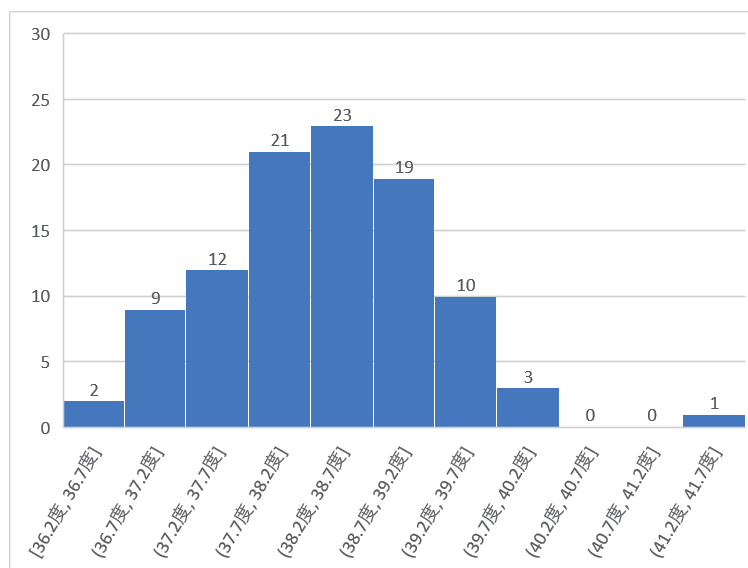


図-8 ヒストグラム (パターン B)

3. 解析方法

ベンチマーク実験の再現解析を行い、ヒストグラムを作成して模型実験と比較する。数値解析にはプログラミング言語 Fortran90 を用いた。個別要素法自体の計算コードは既存の物を使用するため、本研究では模型実験の再現に必要なデータファイルを作成するためのコードを作成した。再現性をより高めるため、安息角実験装置の上に粒子モデルをランダムパッキングさせる。この初期位置条件により、解析と同時に粒子モデルは重力により装置の中に充填されていく。ランダムパッキングすることで、再現解析ごとに異なる充填の仕方になるようにしている。

模型実験との整合性を図るため、粒子モデルを充填させた後の高さが 100mm になるように再現解析方法及びバネ定数を検討中である。

4. おわりに

模型実験により、斜面形状が 2 種類存在することが判明した。また、パターン B のヒストグラムが正規分布にならなかったため、再現解析ではどのようなようになるのか比較を行う。再現解析は、今後物理パラメータを検討して進めていく予定である。

5. 参考文献

- 1) Catherine O' Sullivan : 粒子個別要素法, 鈴木輝一訳, 森北出版, 2014.
- 2) 蛭間雄大 : 個別要素法を用いた土砂流動解析における要素サイズと形状の影響, 2016.