

OpenFOAM の使い方 DEM 解析(1)

岐阜高専 鏑田広美 2012/7/14

目次

■解析の概要■

- 1,DEM 解析とは
- 2,解析の設定

■解析手順■

- 1,解析の準備をする
- 2,解析を実行する
- 3,ParaView で可視化する
- 4,ファイル構成

この資料は、PENGUINITIS さんのブログを参考に作らせていただいています。
PENGUINITIS さん情報公開ありがとうございます。

(<http://www.geocities.jp/penguinitis2002/study/OpenFOAM/dem/dem.html>)

■解析の概要■

1,DEM 解析とは

DEM とは個別要素法 (Distinct Element Method) のことをいい、モデルを粒子の集合体として扱い、図 1 のように粒子間の剛性、摩擦、粘性などを考慮して解析する手法である。

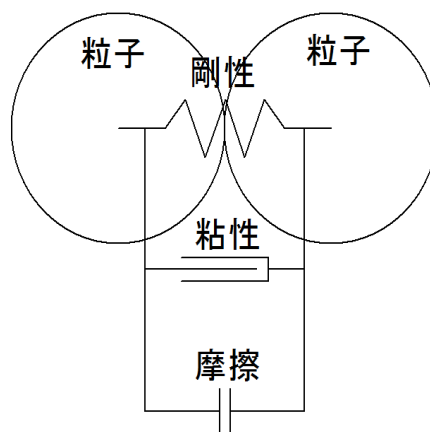


図 1 個別要素法

2.解析の設定

図2のような空間の中に5個の粒子が落下する解析を二次元で行う。

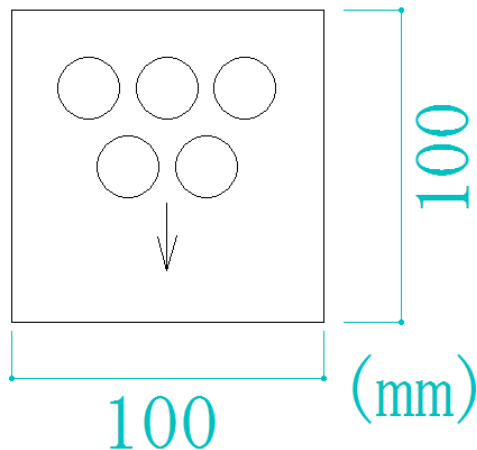


図2 解析対象

■解析手順■

1.解析の準備をする

(1)解析フォルダをダウンロードする

<http://www.geocities.jp/penguinitis2002/study/OpenFOAM/dem/dem.html> から square.tar.tar をダウンロードする。

(2)解析を行うフォルダを作成する。

①端末を準備する

メニューバーにある端末の形を左クリックする。



図3 メニューバー

今後はこの端末を使用して作業を進める。

②home で適当なフォルダを作成する。

```
$ mkdir DEM
```

「mkdir」でディレクトリを作成することができる。

コマンド実行後「場所→ホームフォルダ」でhomeを確認すると、DEMディレクトリが作成されている。

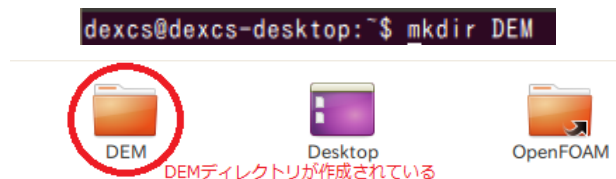


図4 ホームフォルダ

③②で作成した DEM ディレクトリの中に square.tar.tar を移動し、以下のコマンドを実行する。

```
$ cd DEM
$ tar xvf square.tar.tar
```

このコマンドで、圧縮されているファイルを展開することができる。



図 5 square が展開された様子

④DEM フォルダ内で、適当なフォルダを作成する。

```
$ mkdir OpenFOAMDEM
```

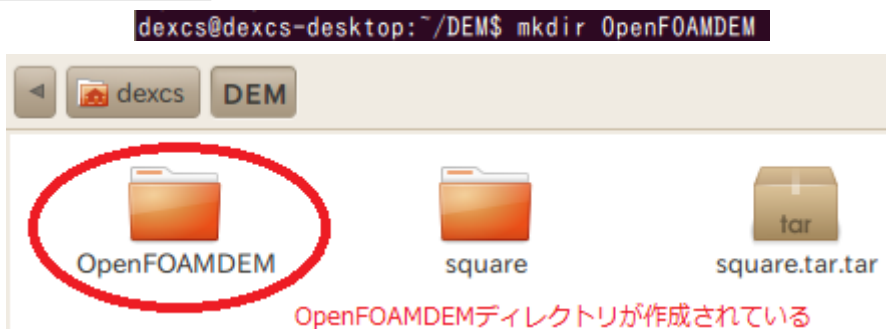


図 6 DEM ディレクトリ

⑤OpenFOAMDEM フォルダ内に先ほど展開した square をコピーする。

```
$ cp -r square OpenFOAMDEM
```

メニューバーからフォルダを開いて/home/DEM/OpenFOAMDEM を中に square がコピーされていることを確認する。

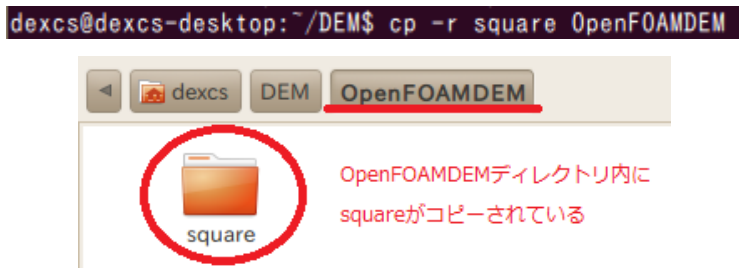


図 7 OpenFOAMDEM ディレクトリ

2.解析を実行する

(1) /home/DEM/OpenFOAMDEM/square まで移動する。

```
$ cd OpenFOAMDEM/square
```

```
dexcs@dexcs-desktop:~/DEM$ cd OpenFOAMDEM/square
```

(2) メッシュを作成する

```
$ blockMesh
```

粒子が落下する空間のメッシュを作成する

図 8 のように実行され、エラーが出なければ成功である。

```
dexcs@dexcs-desktop:~/DEM/OpenFOAMDEM/square$ blockMesh
```

```
Create time
Creating block mesh from
"/home/dexcs/DEM/OpenFOAMDEM/square/constant/polyMesh/blockMeshDict"
Creating curved edges
Creating topology blocks
Creating topology patches
Creating block mesh topology
Check topology
Basic statistics
Number of internal faces : 0
Number of boundary faces : 6
Number of defined boundary faces : 6
Number of undefined boundary faces : 0
Checking patch -> block consistency
Creating block offsets
Creating merge list .
Creating polyMesh from blockMesh
Creating patches
Creating cells
Creating points with scale 0.1
Writing polyMesh
Mesh Information
-----
boundingBox: (0 0 0) (0.1 0.1 0.01)
nPoints: 882
nCells: 400
nFaces: 1640
nInternalFaces: 760
-----
Patches
-----
patch 0 (start: 760 size: 20) name: movingWall
patch 1 (start: 780 size: 60) name: fixedWalls
patch 2 (start: 840 size: 800) name: frontAndBack
End
```

図 8 blockMesh を実行した様子

(3) 計算を実行する

```
$ icoUncoupledKinematicParcelFoam
```

パソコンによる差はあるが、二次元であり粒子の数も少ないので、すぐに計算は終了する。

「Time = 0.5」まで計算が出来れば成功である。

```
dexcs@dexcs-desktop: ~/DEM/OpenFOAMDEM/square$ icoUncoupledKinematicParcelFoam
Time = 0.5
Evolving kinematicCloud
Solving cloud kinematicCloud
  2 move-collide subCycles
Cloud: kinematicCloud
Current number of parcels      = 5
Current mass in system        = 0.02019
Linear momentum                = (-3.98699e-08 -4.95933e-06 7.01068e-23)
|Linear momentum|              = 4.95949e-06
Linear kinetic energy          = 6.09601e-10
Rotational kinetic energy      = 1.69568e-13
Total number of parcels added  = 5
Total mass introduced          = 0.02019
Parcel fate (number, mass)
- escape                       = 0, 0
- stick                         = 0, 0
ExecutionTime = 14.72 s  ClockTime = 21 s
End
```

図 9 計算が終了した様子

(4) VTK に変換する

```
$ foamToVTK
```

こちらもすぐに終了する

```
dexcs@dexcs-desktop: ~/DEM/OpenFOAMDEM/square$ foamToVTK
Time: 0.5
volScalarFields      : mu rho
volVectorFields      : U
Internal : "/home/dexcs/DEM/OpenFOAMDEM/square/VTK/square_5000.vtk"
Patch    : "/home/dexcs/DEM/OpenFOAMDEM/square/VTK/movingWall/movingWall_5000.vtk"
Patch    : "/home/dexcs/DEM/OpenFOAMDEM/square/VTK/fixeWalls/fixeWalls_5000.vtk"
Patch    : "/home/dexcs/DEM/OpenFOAMDEM/square/VTK/frontAndBack/frontAndBack_5000.vtk"
surfScalarFields : phi
Lagrangian: "/home/dexcs/DEM/OpenFOAMDEM/square/VTK/lagrangian/kinematicCloud/kinematicCloud_5000.vtk"
  labels      : active origId typeId origProcId
  scalars     : d rho dTarget nParticle age tTurb
  vectors     : UTurb torque angularMomentum U f
  spherical tensors :
  symm tensors :
  tensors     :
```

図 10 変換が終了した様子

3,ParaView で可視化する

(1)ParaView を起動する

メニューバーの「アプリケーション→DEXCS→dexcsSWAK」で十徳ナイフを起動する。

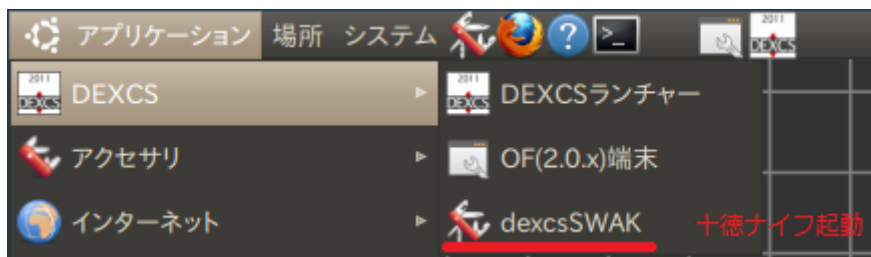


図 11 メニューバー

十徳ナイフが起動したら、「ケースの初期化→paraView 可視化(native)」を選択し、「paraView 可視化(paraview)を実行します」で「OK」を左クリックすると、ParaView が起動する。

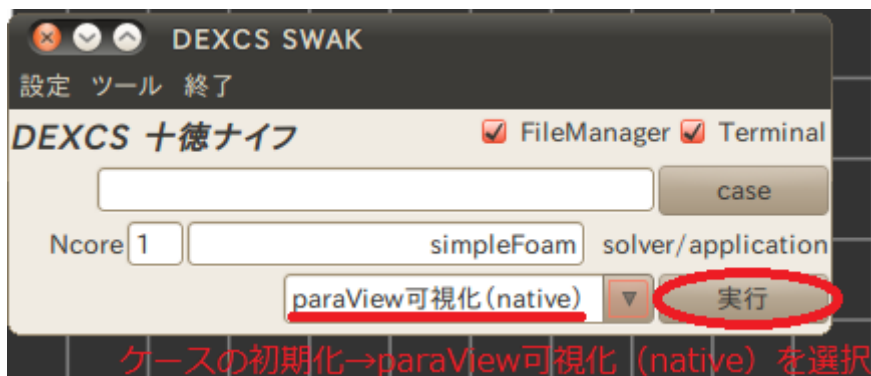


図 12 十徳ナイフ

(2)ParaView が起動したら下記の順に操作し、アニメーションを実行する

メニューバーの「File→Open」を左クリックする。

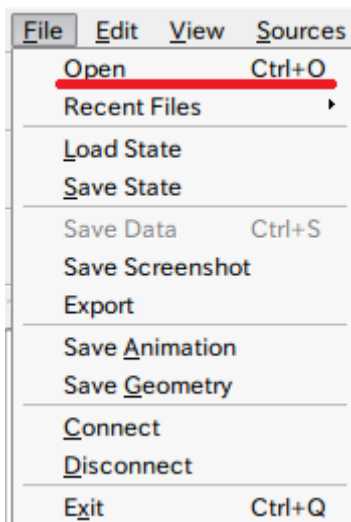


図 13 ParaView のメニューバー

「DEM→OpenFOAMDEM→square→VTK」まで移動し、「square .vtk」を選択して「OK」を左クリックする。(VTK は一番下にあるので注意)

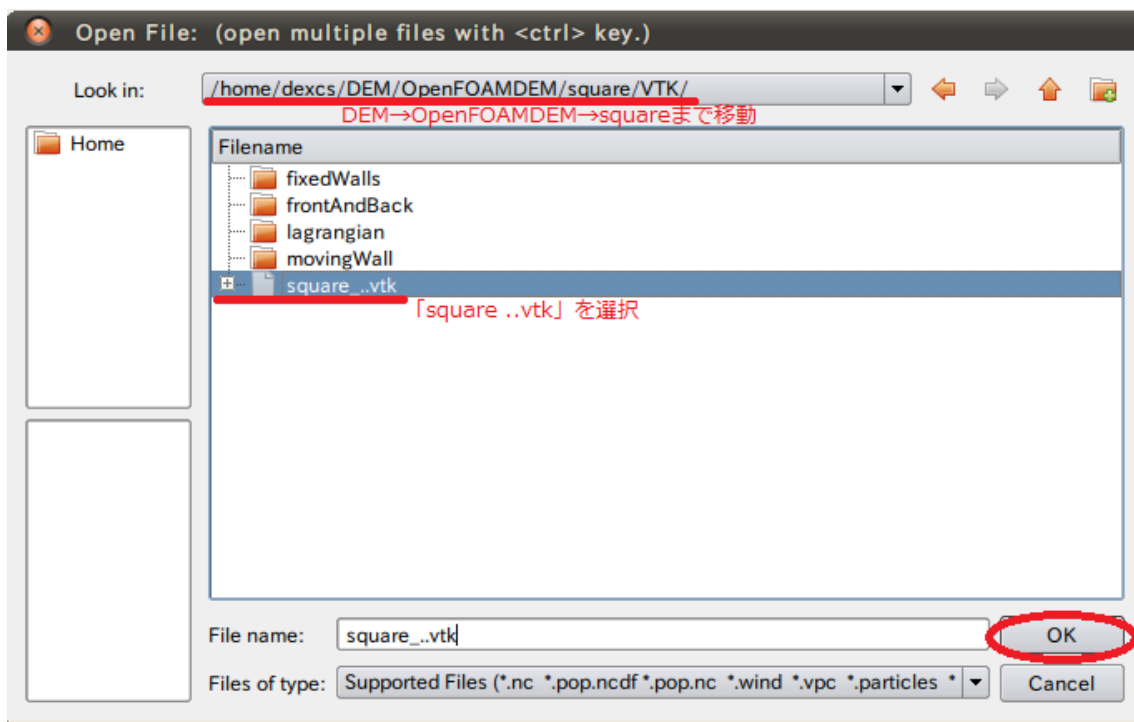


図 14 Open File①

Object Inspector の Apply を左クリックする (図 15) と、図 16 のように正方形が表示される。

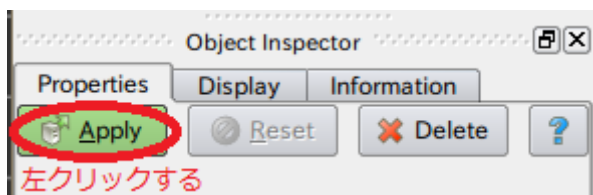


図 15 Object Inspector

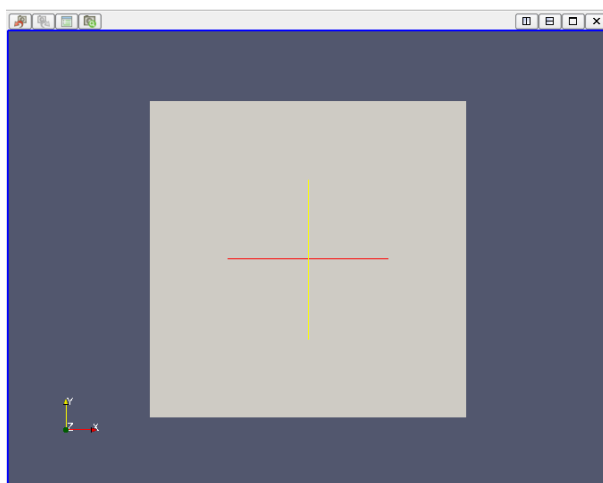


図 16 正方形が表示された様子

上部にある「Surface」を「Outline」に変更する（図 17）と、図 18 のように square の輪郭だけが表示される。これが、粒子が落下する空間になる。

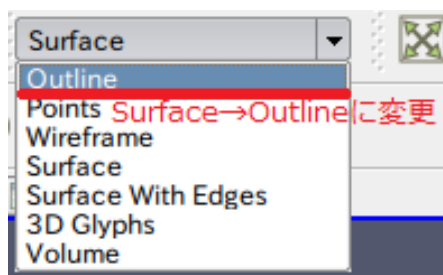


図 17 Surface→Outline

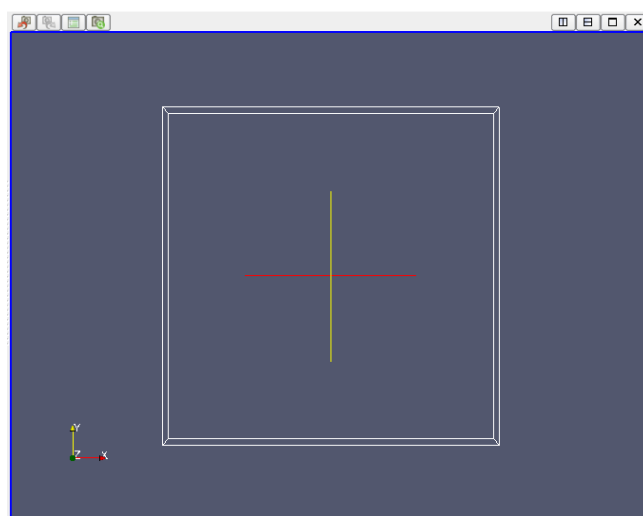


図 18 輪郭だけが表示された様子

次に粒子を表示させる。先程のように「File→Open」を左クリックする。

「lagrangian→kinematicCloud」まで移動し、「kinematicCloud ..vtk」を選択し、「Apply」を左クリックする。

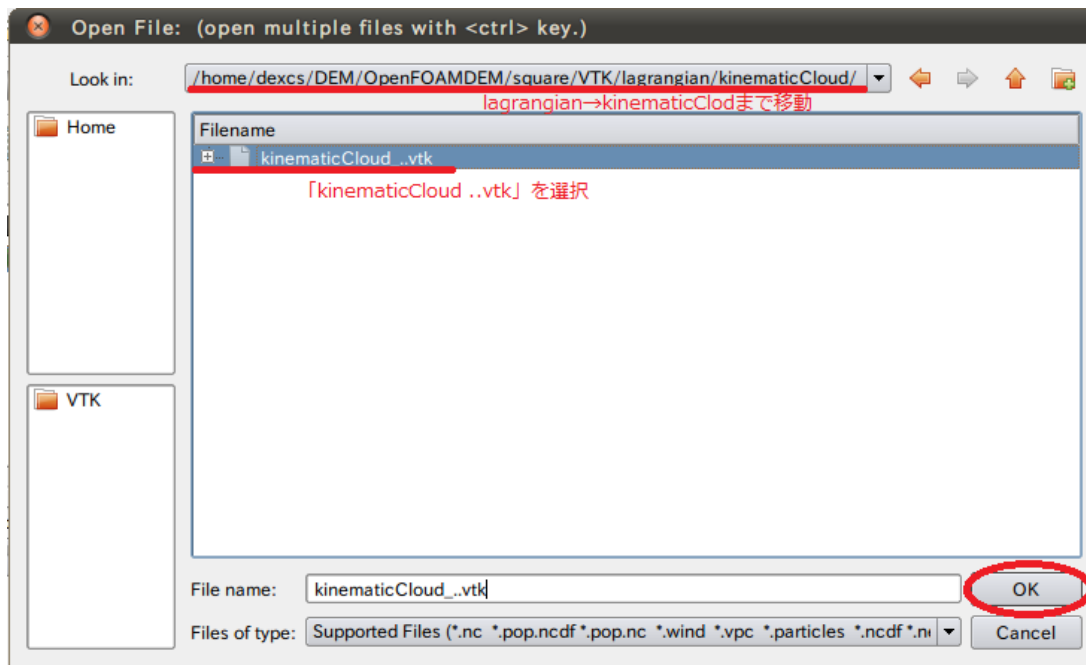


図 19 Open File②

このままでは、粒子が可視化されないなので、上にある「Glyph」を左クリックする。



図 20 Glyph

左側にある Object Inspector の Properties の中をそれぞれ下記のように変更して「Apply」を左クリックする。

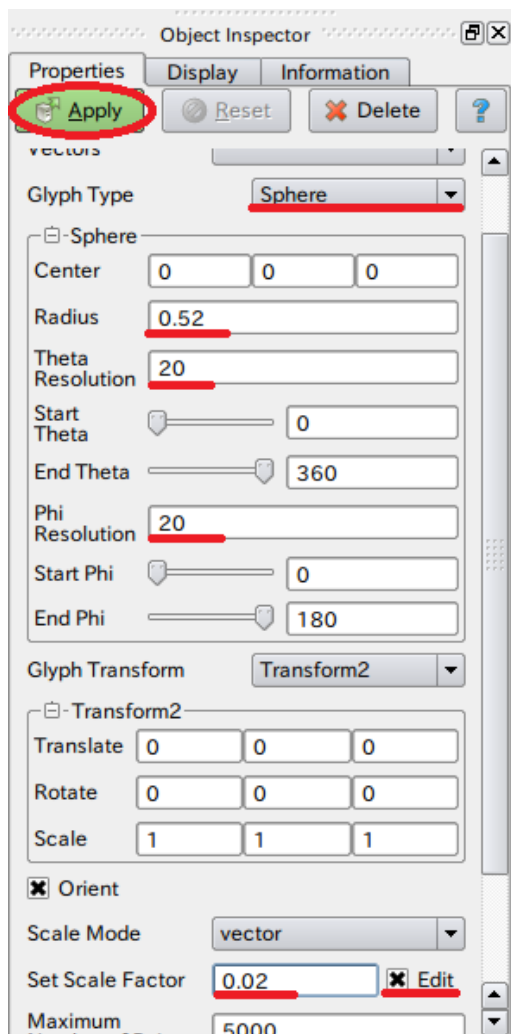


図 21 Object Inspector

Glyph Type : Sphere
 Radius : 0.52
 Theta Resolution : 20
 Phi Resolution : 20
 Set Scale Factor : 0.02 (球の大きさを調節)



図 22 アニメーションの開始

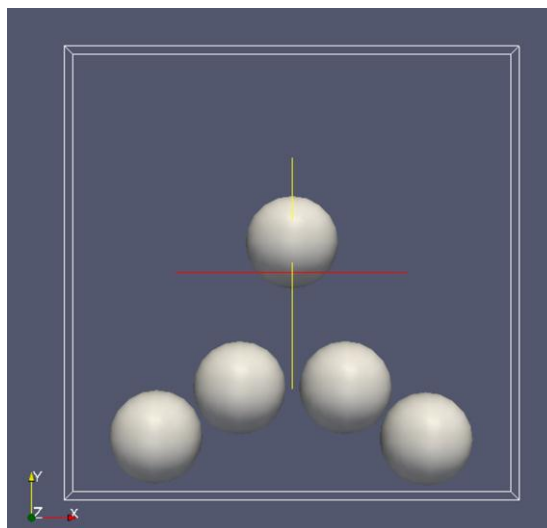


図 23 アニメーションの様子

上部にある図 22 ボタンでアニメーションを開始すると図 23 のように粒子が空間の上方から落下する様子が分かる。

以上で DEM 解析(1)は終了である。

4,入力データの構成

Square の入力データ構成について以下に示す

square/
0/ : 初期条件
U : 初期条件、速度
constant/
RASProperties : レイノルズ数変化の設定
g : 重力加速度
kinematicCloudPositions : 玉の初期配置の設定
kinematicCloudProperties : 衝突の設定
transportProperties : 流体特性 (動粘性係数、密度など)
turbulenceProperties : 流体特性 (モデル {層流、乱流など})
polyMesh
blockMeshDict : blockMesh を行うための記述がされている
system
controlDict : 計算時間の制御、解のデータの読み書きに関する入力
fvSchemes : スキームの設定
fvSolution : 偏微分方程式を離散化してできる代数方程式を解くための設定

blockMesh を実行すると生成されるファイルについて以下に示す。

square/
constant/
polyMesh/
boundary : パッチのリスト
faces : 面のリスト
neighbour : 隣接セルのリスト
owner : 保有セルのリスト (ヘッダーにポイント数、セル数、総面積、内部面積が記載)
points : セルの頂点 (ポイント) のリスト

今後の解析で変更する部分に関して説明する。

□blockMeshDict (DEM/OpenFOAMDEM/square/constant/polyMesh) □

blockMesh を行うための記述がされている。

```
convertToMeters 0.1;
```

単位の設定がされている。全ての座標に 0.1 を掛けることを意味する。

今回は「1=0.1m=10cm=100mm」となる。

```
vertices
(
  (0 0 0) //座標 0
  (1 0 0) //座標 1
  (1 1 0) //座標 2
  (0 1 0) //座標 3
  (0 0 0.1) //座標 4
  (1 0 0.1) //座標 5
  (1 1 0.1) //座標 6
  (0 1 0.1) //座標 7
);
```

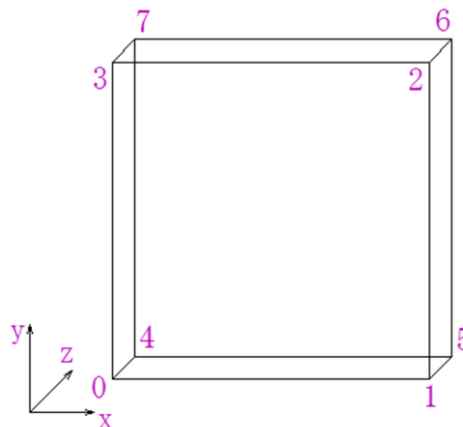


図 24 square

それぞれの座標を示している。図 24 のように座標が対応している。

```
blocks
(
  hex (0 1 2 3 4 5 6 7) (20 20 1) simpleGrading (1 1 1)
);
```

それぞれのブロックごとに記述する。今回はブロックが 1 個である。

(20 20 1)では x 方向に 20、y 方向に 20、z 方向に 1 メッシュを作成することが記述されている。

```
Boundary
movingWall
{
  type wall;
  faces
  (
    (3 7 6 2)
  );
}
```

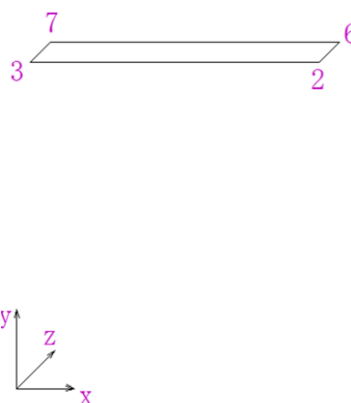


図 25 movingWall

```

fixedWalls
{
    type wall;
    faces
    (
        (0 4 7 3)
        (2 6 5 1)
        (1 5 4 0)
    );
}

```

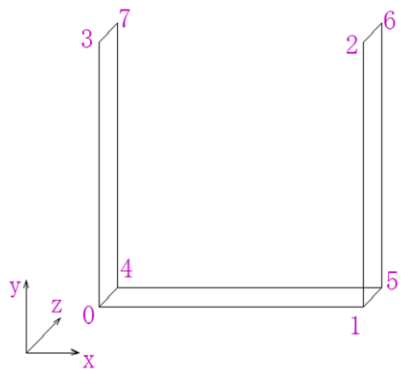


図 26 fixedWalls

```

frontAndBack
{
    type empty;
    faces
    (
        (0 3 2 1)
        (4 5 6 7)
    );
}

```

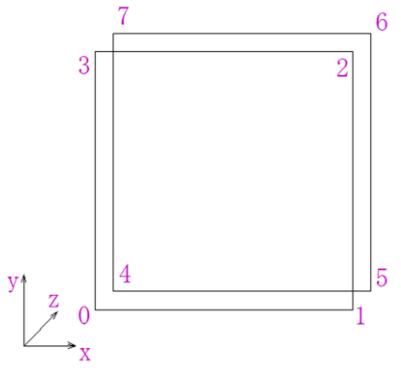


図 27 frontAndBack

Boundary では、movingWall、fixedWalls、frontAndBack を定義している。
type では境界条件を示しており、movingWall、fixedWalls には、通常の壁面に使用する wall が使われている。frontAndBack には、2次元形状の前後の面に使用される empty が使われている。

□kinematicCloudPositions(DEM/OpenFOAMDEM/square/constant)□

球の初期配置の設定をしている。

```
(  
(0.025 0.075 0.005)  
(0.05 0.075 0.005)  
(0.075 0.075 0.005)  
(0.0375 0.05 0.005)  
(0.0625 0.05 0.005)  
)
```

x 方向、y 方向、z 方向それぞれの初期配置を設定している。単位は「m」である。

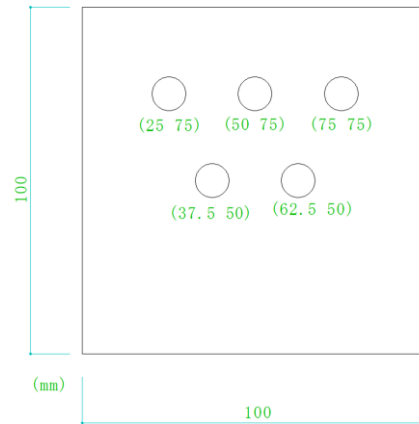


図 28 球の初期配置

□kinematicCloudProperties(DEM/OpenFOAMDEM/square/constant)□

球同士の衝突の設定がされているが、今後の解析で変更を加える部分だけ説明する。

```
constantProperties  
{  
    parcelTypeId 1;  
    rhoMin 1e-15;  
    minParticleMass 1e-15;  
    rho0 964;  
    youngsModulus 6e8; //球のヤング率  
    poissonsRatio 0.35;  
    constantVolume false;  
}
```

```
pairSpringSliderDashpotCoeffs  
{  
    useEquivalentSize no;  
    alpha 0.12; // 跳ね返り係数  
    b 1.5; // 粘性係数  
    mu 0.52; // 摩擦係数  
    cohesionEnergyDensity 0;  
    collisionResolutionSteps 12;  
};
```

movingWall、fixedWalls、frontAndBack も同様に定義されている。

□U (DEM/OpenFOAMDEM/square/0)□

速度の初期条件を示している。

```
dimensions      [0 1 -1 0 0 0 0];
```

単位を示している。[kg m s K mol A Cd]の順で、今回の場合は[m/s]となる。

boundaryField

```
movingWall
{
    type      fixedValue;
    value     uniform (0 0 0);
}
```

```
fixedWalls
{
    type      fixedValue;
    value     uniform (0 0 0);
}
```

```
frontAndBack
{
    type      empty;
}
```

blockMeshDict で定義したそれぞれの面の初期速度を示している。先程と同じように、二次元なので frontAndBack は type が empty になっている。

OpenFOAM の使い方 DEM 解析(2)

岐阜高専 鏑田広美 2012/7/14

目次

■解析の概要■

■解析手順■

- 1,解析の準備をする
- 2,解析を実行する
- 3,ParaView で可視化する
- 4,変更箇所

■解析の概要■

図1のような空間に5個の粒子が落下する解析を二次元で行う。

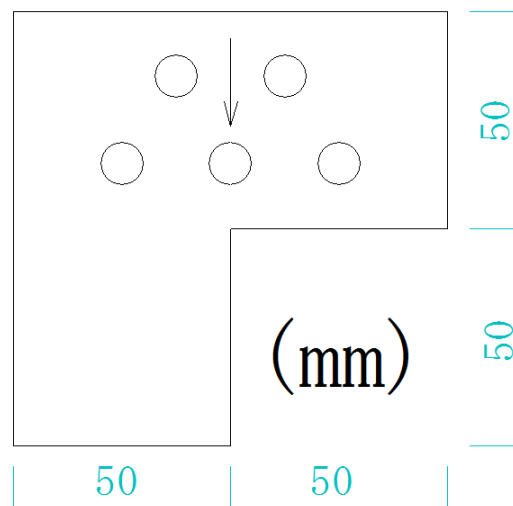


図1 解析対象

■解析手順■

1,解析の準備をする

(1)解析を行うフォルダを作成する。

①端末を準備する

メニューバーにある端末の形を左クリック

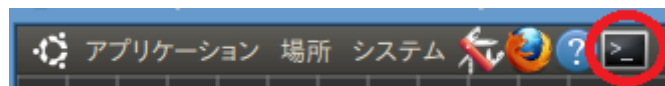


図2 メニューバー

- ② “OpenFOAM の使い方 DEM 解析(1)” で作成した DEM ディレクトリに移動し、OpenFOAMDDEM2.tar.gz を展開する。

```
$ cd DEM  
$ tar xvf OpenFOAMDDEM2.tar.gz
```

2,解析を実行する

- (1)home/DEM/OpenFOAMDDEM2/square まで移動する。

```
$ cd OpenfFOAMDDEM2/square
```

- (2)メッシュを作成する

```
$ blockMesh
```

粒子が落下する空間のメッシュを作成する。

- (3)計算を実行する

```
$ icoUncoupledKinematicParcelFoam
```

「Time=0.5」まで計算ができれば成功である。

- (4)VTK に変換する

```
$ foamToVTK
```

3,ParaView で可視化する

- (1)ParaView を起動する。

メニューバーの「アプリケーション→DEXCS→dexcsSWAK」で十徳ナイフを起動する。十徳ナイフを起動したら、「ケースの初期化→paraView 可視化 (natite)」を選択し、ParaView を起動する。

- (2)ParaView が起動したら”OpenFOAM の使い方 DEM 解析(1)”と同様に操作するが、square の輪郭を表示する際、「surface」を「Outline」ではなく「Wireframe」に変更する。

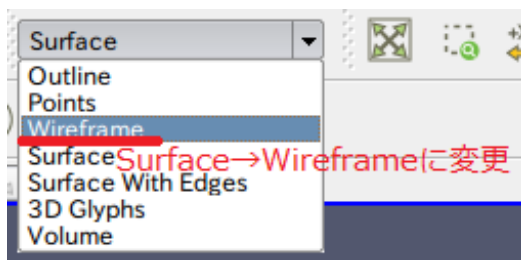


図 3 Surface→Wireframe

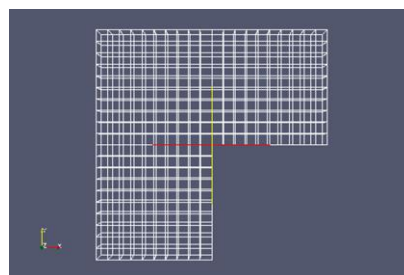


図 4 Wireframe が表示された様子

これ以降の操作は同様に行い、アニメーションを実行する。

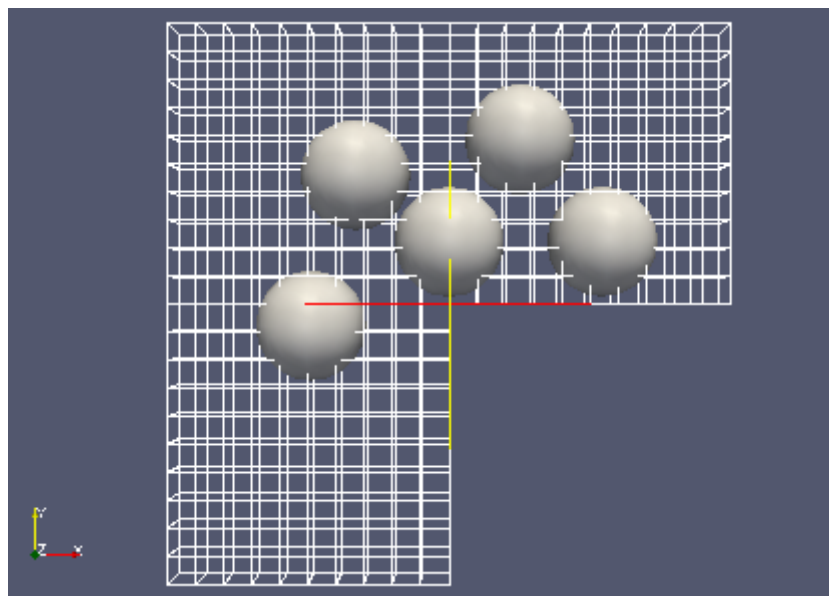


図5 アニメーションの様子

以上で DEM 解析(2)は終了である。

4,変更箇所

DEM 解析(2)は square を一部変更して行っている。今回は blockMeshDict と kinematicCloudPotisions を変更している。

□blockMeshDict(DEM/OpenFOAMDEM2/square/constant/polyMesh)□
形を変更しており、それに合わせて blocks,boundary を変更している。

```
vertices
(
  (0 0 0) //座標 0
  (0.5 0 0) //座標 1
  (0.5 0.5 0) //座標 2
  (1 0.5 0) //座標 3
  (1 1 0) //座標 4
  (0.5 1 0) //座標 5
  (0 1 0) //座標 6
  (0 0.5 0) //座標 7
  (0 0 0.1) //座標 8
  (0.5 0 0.1) //座標 9
  (0.5 0.5 0.1) //座標 10
  (1 0.5 0.1) //座標 11
  (1 1 0.1) //座標 12
  (0.5 1 0.1) //座標 13
  (0 1 0.1) //座標 14
  (0 0.5 0.1) //座標 15
);
```

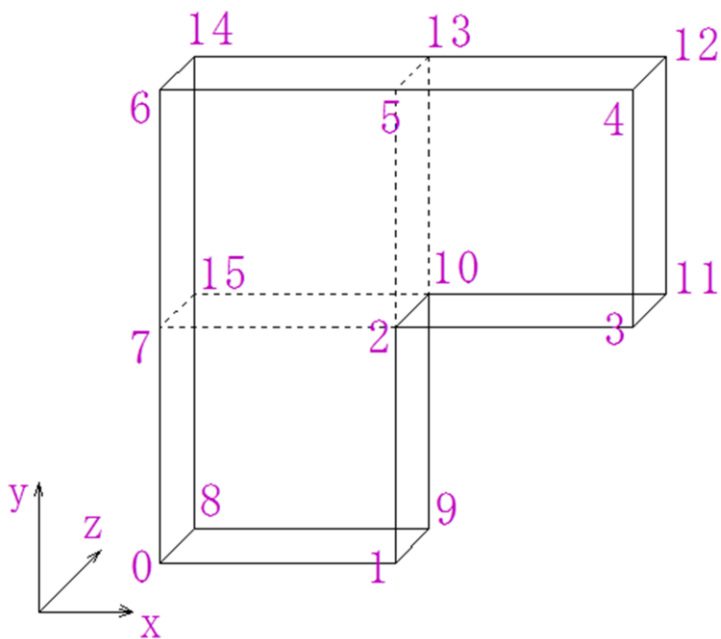


図 6 vertices に対応した図形

図 6 のように座標が対応している。

```
blocks
(
  hex (0 1 2 7 8 9 10 15) (10 10 1) simpleGrading (1 1 1)
  hex (7 2 5 6 15 10 13 14) (10 10 1) simpleGrading (1 1 1)
  hex (2 3 4 5 10 11 12 13) (10 10 1) simpleGrading (1 1 1)
);
```

図 6 より 3つのブロックで構成されているので、それぞれ記述している。

```

boundary
movingWall
{
    type wall;
    faces
    (
        (6 5 13 14)
        (5 4 12 13)
    );
}

```

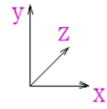
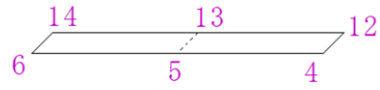


图 7 moving Wall

```

fixedWalls
{
    type wall;
    faces
    (
        (7 6 14 15)
        (0 7 15 8)
        (0 8 9 1)
        (1 2 10 9)
        (2 10 11 3)
        (3 4 12 11)
    );
}

```

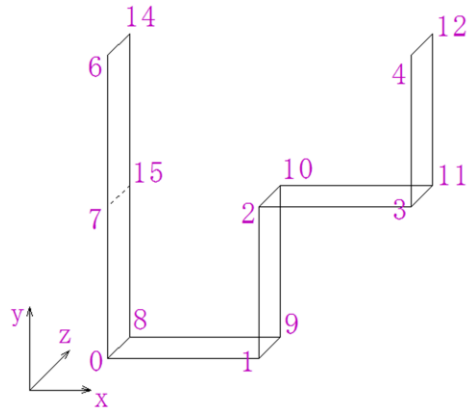


图 8 fixed Walls

```

frontAndBack
{
    type empty;
    faces
    (
        (0 7 2 1)
        (7 6 5 2)
        (2 5 4 3)
        (8 15 10 9)
        (15 14 13 10)
        (10 13 12 11)
    );
}

```

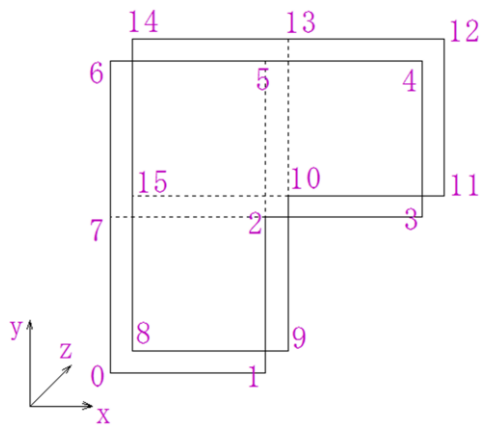


图 9 frontAndBack

□kinematicCloudPositions(DEM/OpenFOAMDEM2/square/constant)□

球の初期配置を変更している。

```
(  
(0.025 0.065 0.005)  
(0.05 0.065 0.005)  
(0.075 0.065 0.005)  
(0.0375 0.085 0.005)  
(0.0625 0.085 0.005)  
)
```

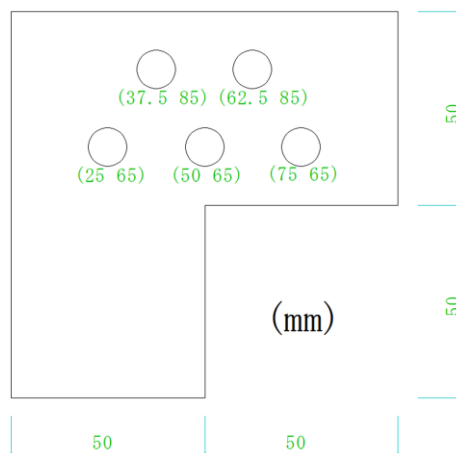


図 10 球の初期配置

OpenFOAM の使い方 DEM 解析(3)

岐阜高専 鏑田広美 2012/7/14

目次

■解析の概要■

■解析手順■

- 1,解析の準備をする
- 2,解析を実行する
- 3,ParaView で可視化する
- 4,変更箇所

■解析の概要■

図 1 のような空間に 5 個の粒子が落下する解析を三次元で行う。

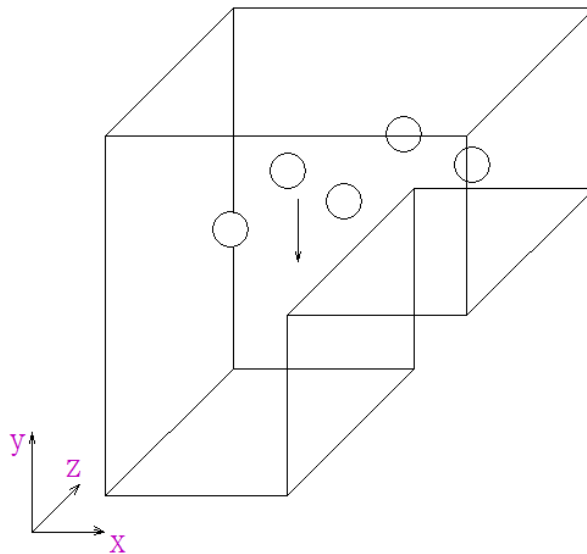


図 1 解析対象

■解析手順■

1,解析の準備をする

(1)解析を行うフォルダを作成する

①端末を準備する

メニューバーにある端末の形を左クリック

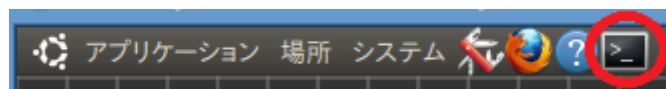


図 2 メニューバー

②”OpenFOAM の使い方 DEM 解析(1)”で作成した DEM ディレクトリに移動し、OpenFOAMD3.tar.gz を展開する。

```
$ cd DEM  
$ tar xvf OpenFOAMD3.tar.gz
```

2,解析を実行する

(1)home/DEM/OpenFOAMD3/square まで移動する

```
$ cd OpenFOAMD3/square
```

(2)メッシュを作成する

```
$ blockMesh
```

粒子が落下する空間のメッシュを作成する

(3)計算を実行する

```
$ icoUncoupledKinematicParcelFoam
```

「Time=0.5」まで計算ができれば成功である。

(4)VTK に変換する

```
$ foamToVTK
```

3,ParaView で可視化する

(1)ParaView を起動する

メニューバーの「アプリケーション→DEXCS→dexcsSWAK」で十徳ナイフを起動する。十徳ナイフを起動したら、「ケースの初期化→paraView 可視化 (native)」を選択し、ParaView を起動させる。

(2)ParaView が起動したら “OpenFOAM の使い方 DEM 解析(2)” と同様に操作する。アニメーションを実行すると、下図のようになる。

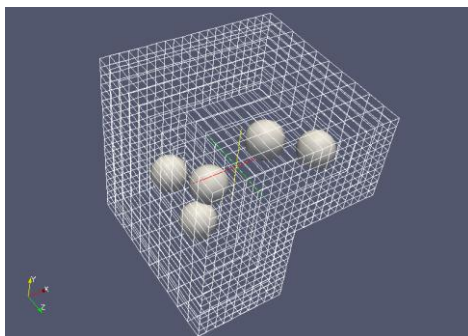


図3 アニメーションの様子

以上で DEM 解析(3)は終了である。

4,変更箇所

DEM 解析(3)は DEM 解析(2)を一部変更して行っている。今回は blockMeshDict、kinematicCloudPositions、U を変更して行っている。

□blockMeshDict(DEM/OpenFOAMDEM3/square/constant/polyMesh)□

基本的な形の変更はないが、z 方向を 0.1→1 に変更し、それに合わせて blocks も変更している。また、三次元なので boundary の境界条件も変更している。

```
vertices
(
  (0 0 0) //座標 0
  (0.5 0 0) //座標 1
  (0.5 0.5 0) //座標 2
  (1 0.5 0) //座標 3
  (1 1 0) //座標 4
  (0.5 1 0) //座標 5
  (0 1 0) //座標 6
  (0 0.5 0) //座標 7
  (0 0 1) //座標 8
  (0.5 0 1) //座標 9
  (0.5 0.5 1) //座標 10
  (1 0.5 1) //座標 11
  (1 1 1) //座標 12
  (0.5 1 1) //座標 13
  (0 1 1) //座標 14
  (0 0.5 1) //座標 15
);
```

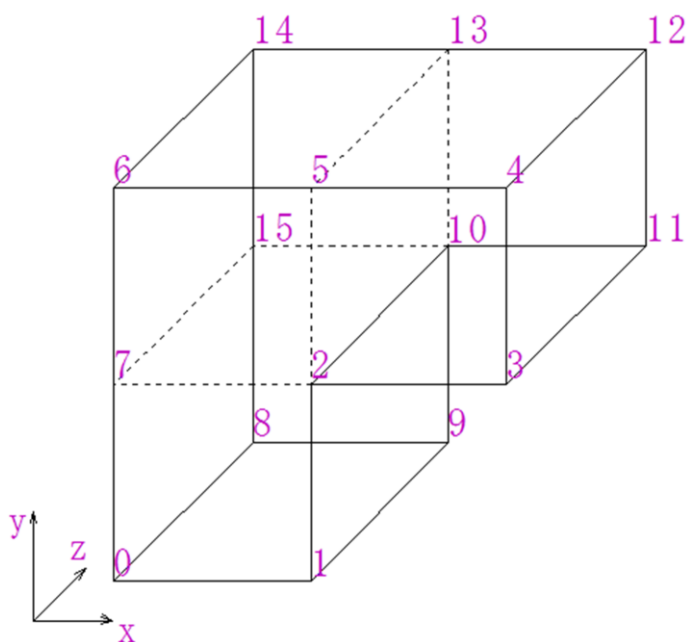


図 4 vertices に対応した図形

図 4 のように座標が対応している

```
blocks
(
  hex (0 1 2 7 8 9 10 15) (10 10 10) simpleGrading (1 1 1)
  hex (7 2 5 6 15 10 13 14) (10 10 10) simpleGrading (1 1 1)
  hex (2 3 4 5 10 11 12 13) (10 10 10) simpleGrading (1 1 1)
);
```

図 4 より 3つのブロックで構成されている。Vertices の z 方向を 0.1→1 に変更したので、blocks の z 方向も 1→10 に変更している。


```

boundary
frontAndBack
{
    type wall;
    faces
    (
        (0 7 2 1)
        (7 6 5 2)
        (2 5 4 3)
        (8 15 10 9)
        (15 14 13 10)
        (10 13 12 11)
    );
}

```

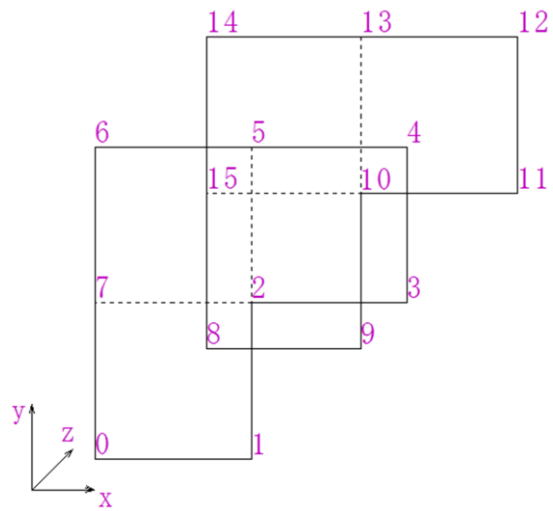


図5 frontAndBack

今まで、2次元形状の前後の面に使用される empty が使われていた frontAndBack を wall に変更する。

□kinematicCloudPositions(DEM/OpenFOAMDEM3/square/constant)□

より現実的な3次元の動きにするために、それぞれの球の配置をバラバラにする必要がある。

```

(
    (0.025 0.065 0.04)
    (0.05 0.065 0.05)
    (0.075 0.065 0.06)
    (0.0375 0.085 0.045)
    (0.0625 0.085 0.055)
)

```

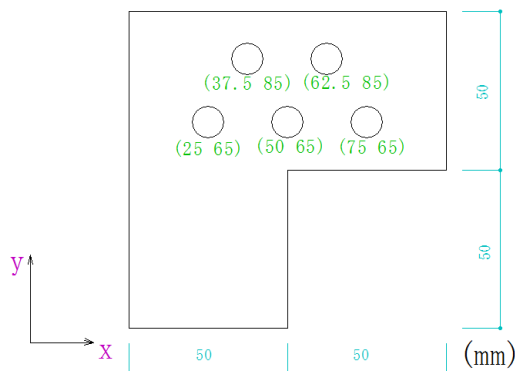


図6 球の初期配置 (xy平面)

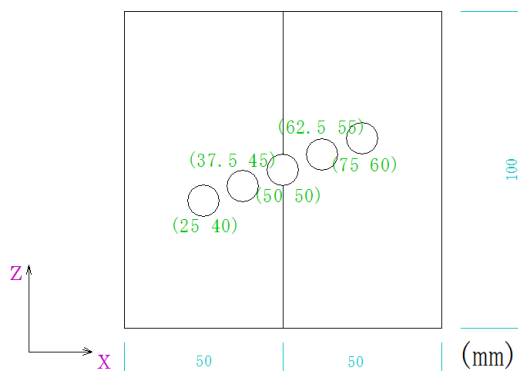


図7 球の初期配置 (xz平面)

□U(DEM/OpenFOAMDEM3/square/0)□

frontAndBack の type を empty→fixedValue に変更し、value を追加する。

```
frontAndBack
{
    type          fixedValue;
    value        uniform (0 0 0);
}
```

OpenFOAM の使い方 DEM 解析(4)

岐阜高専 鏑田広美 2012/7/14

目次

■解析の概要■

■解析手順■

- 1,解析の準備をする
- 2,解析を実行する
- 3,ParaView で可視化する
- 4,変更箇所

■解析の概要■

図 1 のような空間に 1 個の固体が落下する解析を二次元で行う。

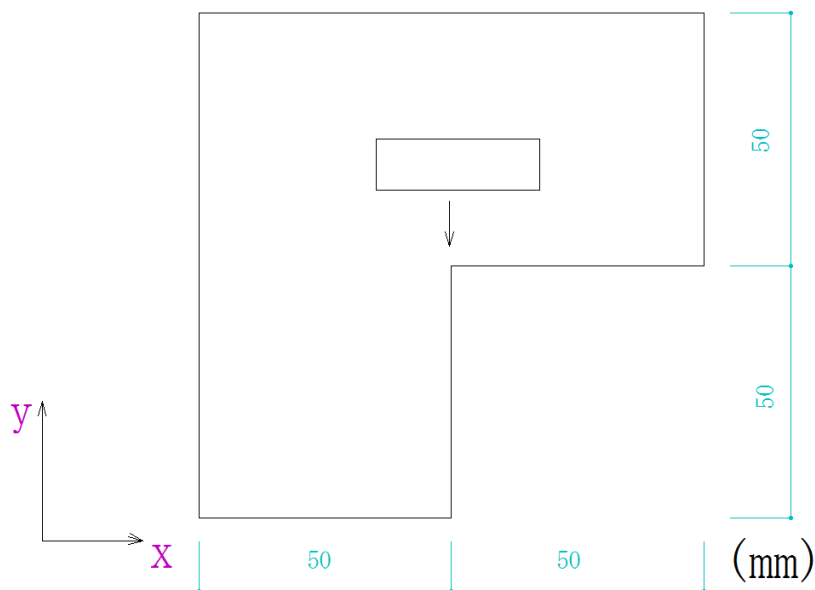


図 1 解析対象

■解析手順■

1,解析の準備をする

(1)解析を行うフォルダを作成する

①端末を準備する

メニューバーにある端末の形を左クリック



図 2 メニューバー

②”OpenFOAM の使い方 DEM 解析(1)”で作成した DEM ディレクトリに移動し、OpenFOAMD4.tar.gz を展開する。

```
$ cd DEM
$ tar xvf OpenFOAMD4.tar.gz
```

2.解析を実行する

(1)home/DEM/OpenFOAMD4/square まで移動する。

```
$ cd OpenFOAMD4/square
```

(2)メッシュを作成する

```
$ blockMesh
```

(3)計算を実行する

```
$ icoUncoupledKinematicParcelFoam
```

「Time=0.5」まで計算が出来れば成功である。

(4)VTK に変換する

```
$ foamToVTK
```

3,ParaView で可視化する

(1)ParaView を起動する

メニューバーの「アプリケーション→DEXCS→dexcsSWAK」で十徳ナイフを起動する。十徳ナイフが起動したら、「ケースの初期化→paraView 可視化 (native)」を選択し、ParaView を起動する。

(2)ParaView が起動したら、”OpenFOAM の使い方 DEM 解析(2)”と同様に操作するが、Object Inspector の Properties の中は下記のように変更する。

```
Glyph Type : Sphere
Radius : 0.52
Theta Resolution : 20
Phi Resolution : 20
Set Scale Factor : 0.007
(球を他の例題に比べて小さくする)
```



図3 Object Inspector

アニメーションを実行すると、図4のようになる。

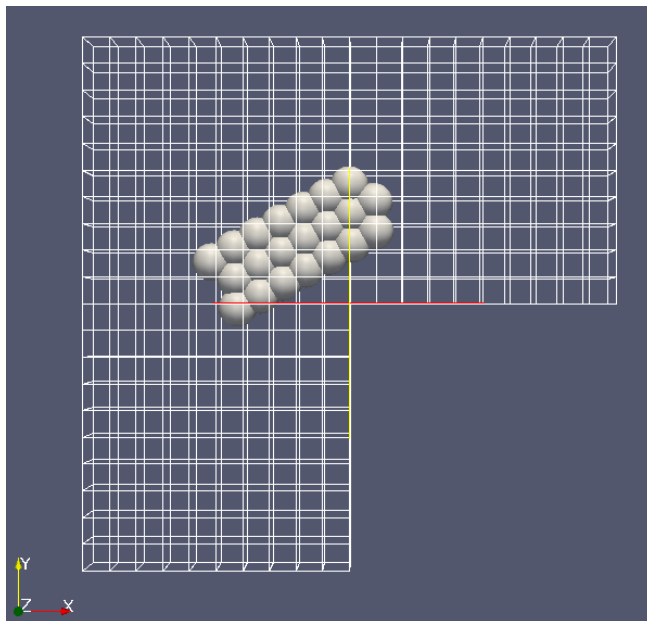


図4 アニメーションの様子

以上でDEM解析(4)は終了である。

4,変更箇所

DEM 解析(4)は DEM 解析(2)を一部変更して行っている。今回は、kinematicCloudPositions と kinematicCloudProperties を変更している。

□kinematicCloudpositons(DEM/OpenFOAMDEM4/square/constant)□

球の数、配置を変更している。

```
(  
(0.035 0.075 0.005)  
(0.04 0.075 0.005)  
(0.045 0.075 0.005)  
(0.05 0.075 0.005)  
(0.055 0.075 0.005)  
(0.06 0.075 0.005)  
(0.065 0.075 0.005)  
(0.0375 0.07 0.005)  
(0.0425 0.07 0.005)  
(0.0475 0.07 0.005)  
(0.0525 0.07 0.005)  
(0.0575 0.07 0.005)  
(0.0625 0.07 0.005)  
(0.0675 0.07 0.005)  
(0.035 0.065 0.005)  
(0.04 0.065 0.005)  
(0.045 0.065 0.005)  
(0.05 0.065 0.005)  
(0.055 0.065 0.005)  
(0.06 0.065 0.005)  
(0.065 0.065 0.005)  
)
```

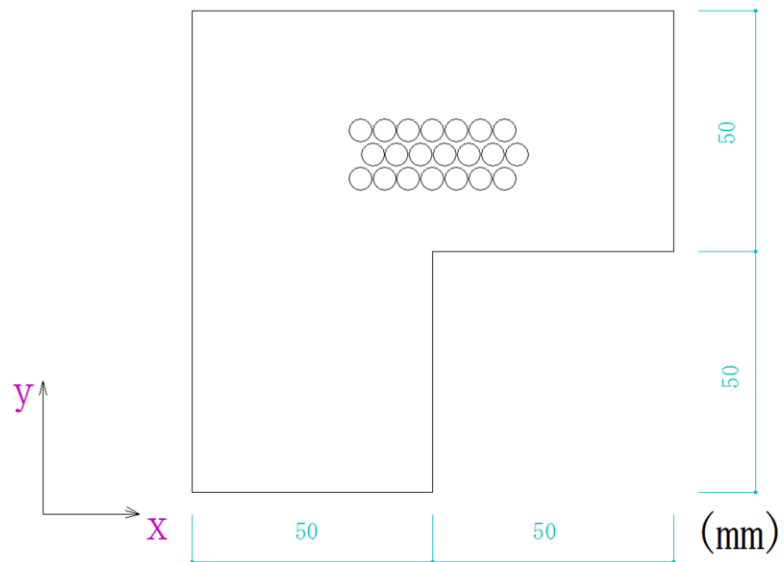


図5 球の初期配置

図5のように球を少しずつらしながら三段重ねることにより固体を表現している。

□kinematicCloudProperties(DEM/OpenFOAMDEM4/square/constant)□

```
constantProperties
{
    parcelTypeId    1;
    rhoMin          1e-15;
    minParticleMass 1e-15;
    rho0            964;
    youngsModulus   6e10; // ヤング率
    poissonsRatio   0.35;
    constantVolume  false;
}
```

球自体のヤング率を 6e8→6e10 に変更している。

```
pairSpringSliderDashpotCoeffs
{
    useEquivalentSize no;
    alpha             0.12; // 跳ね返り係数
    b                 150;  // 粘性係数
    mu                0.52; // 摩擦係数
    cohesionEnergyDensity 0;
    collisionResolutionSteps 12;
};
```

球同士の粘性係数を 1.5→150 に変更している。

```
fixedWalls
{
    youngsModulus  1e10; // ヤング率
    poissonsRatio  0.23; // ポアソン比
    alpha          0.12; // 跳ね返り係数
    b              1.5;  // 粘性係数
    mu             0.1;  // 摩擦係数
    cohesionEnergyDensity 0;
}
```

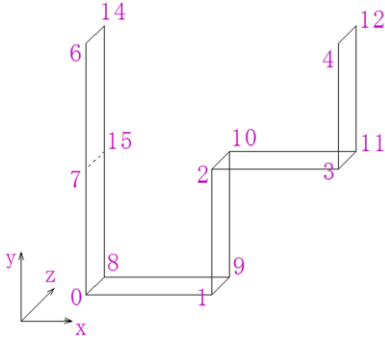


図 6 fixed Walls

fixedWall は図 6 に示す。

fixedWall の摩擦係数を 0.43→0.1 にして、物体を滑りやすくしている。