

# 個別要素法による岩脈貫入シミュレーション

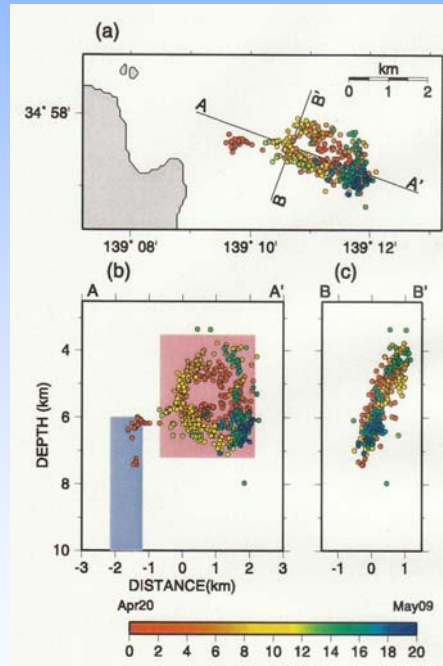
防災科研 藤田英輔

@火山噴火の数値シミュレーション研究集会

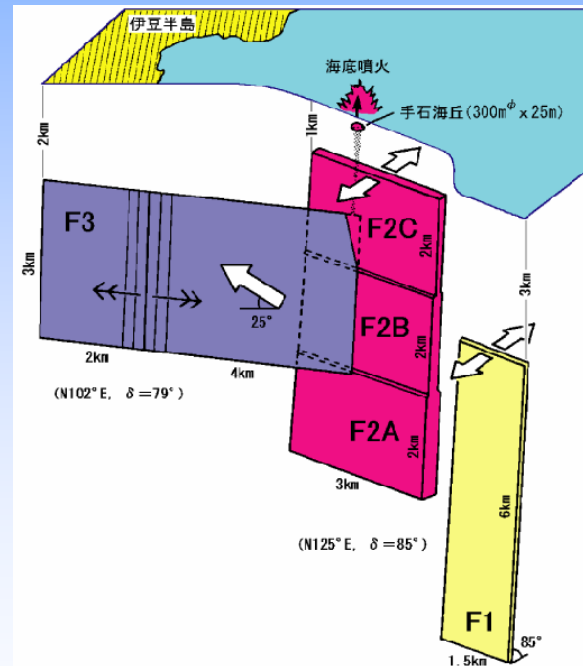
2008/11/10

# 背景

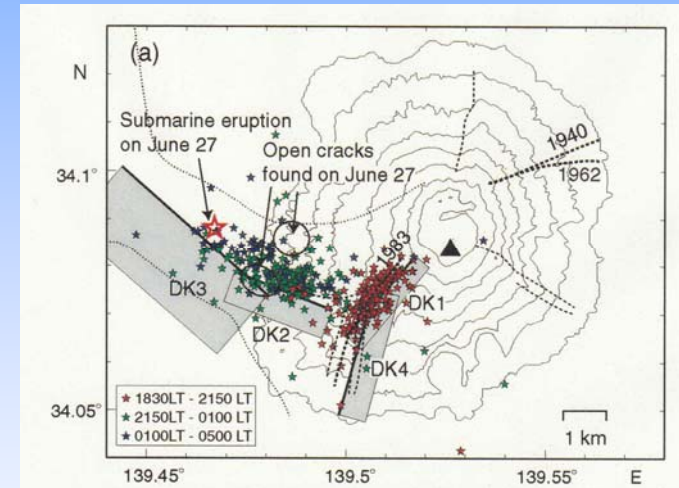
- 高精度地震・地殻変動観測網による地下のマグマ貫入の詳細把握が可能になった



1998年伊東沖群発  
(Morita et al., 2005)



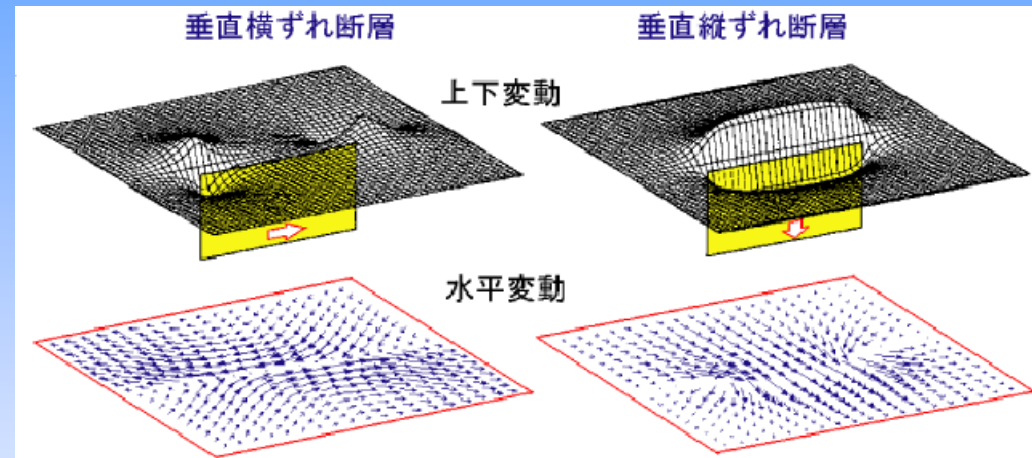
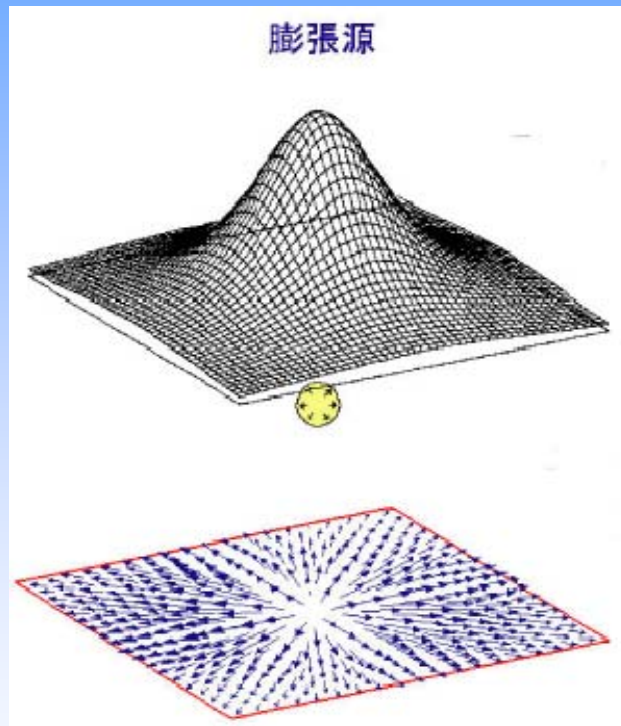
1989年伊東沖  
(Okada & Yamamoto, 1992)



2000年三宅島  
(Ueda et al., 2006)

# 従来の地殻変動モデル

- Mogi model (1958)
- Okada model (1985,1992)



## 適用条件

- 等方均質弾性体
- 弾性変形(破壊なし)

## 本研究の目的

- 岩脈貫入に伴う地震発生・地殻変動のモデル化
  - 弾性変形・塑性変形（破壊）・流体との連成
  - 重力場における現象
  - 非等方・不均質媒質の評価
  - 3次元(広域)応力場の影響評価



個別要素法（DEM）の適用性を検討

※観測データとの融合によるリアルタイムマグマ貫入予測へ発展

# 個別要素法 (DEM: Discrete Element Method)

- 特徴

連続体を粒子で表し、粒子間の法線・接線方向の弾性定数・粘性定数を定義し、応力・変位の相互作用を運動量保存則・エネルギー保存等の偏微分方程式に基づき解く

- 利点

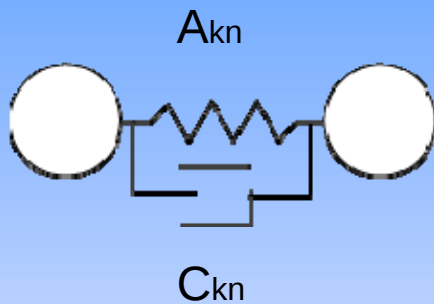
ミクロな現象を扱いやすい（破壊）

- 欠点

計算時間がかかる

# 応力・破壊の定式化

normal方向



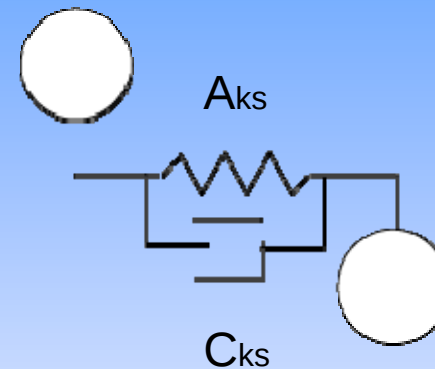
Spring coefficient:  $A_{kn}$

Damping coefficient:  $C_{kn}$

Threshold distance

$$D > D_{th}$$

shear方向



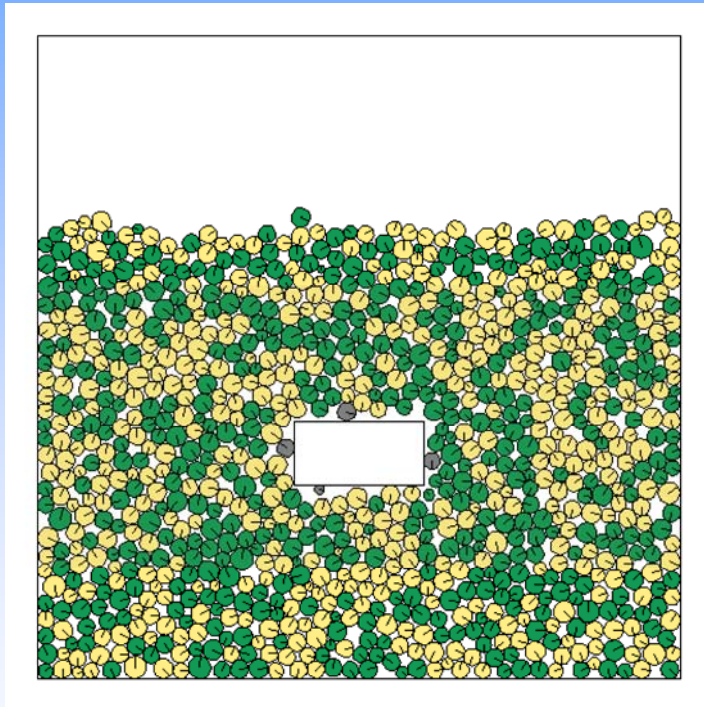
Spring coefficient:  $A_{ks}$

Damping coefficient:  $C_{ks}$

Mohr-Coulomb Criterion

$$\tau = C + \sigma_n \tan \phi$$

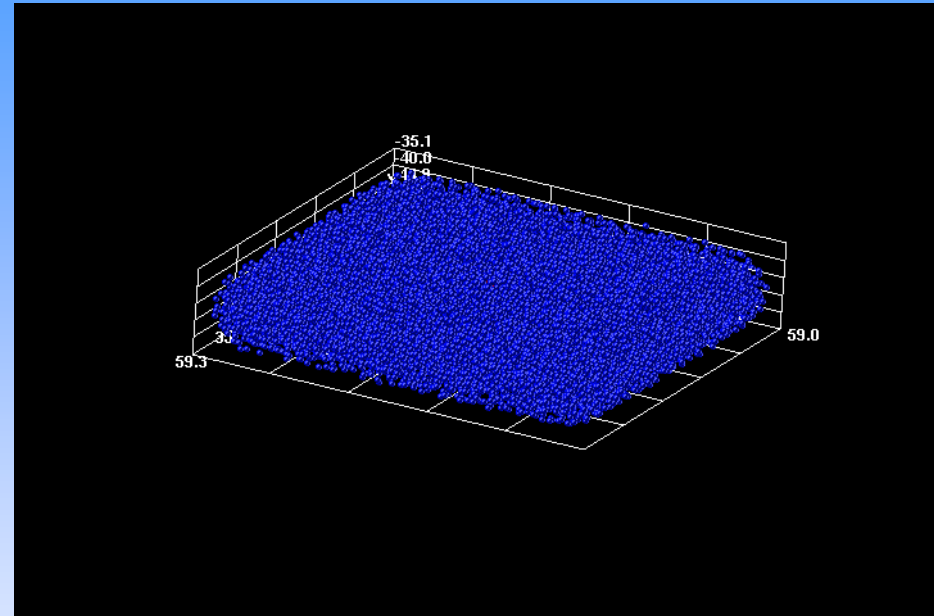
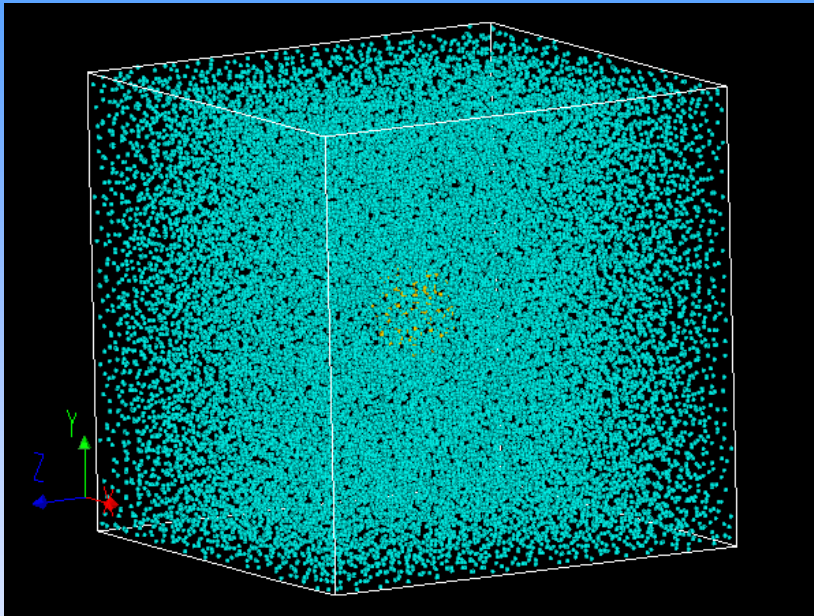
# DEMによる簡易シミュレーション例(2D)



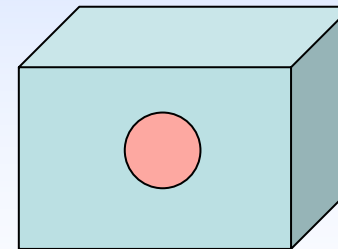
1. 粒子をランダムに生成
2. 重力パッキング
3. 中央部に空洞を生成（マグマ溜り仮想）
4. 上・左右の壁を一定速度で動かす

ソースコード：松島巨志氏（筑波大社会工学系）のコードを元に改造

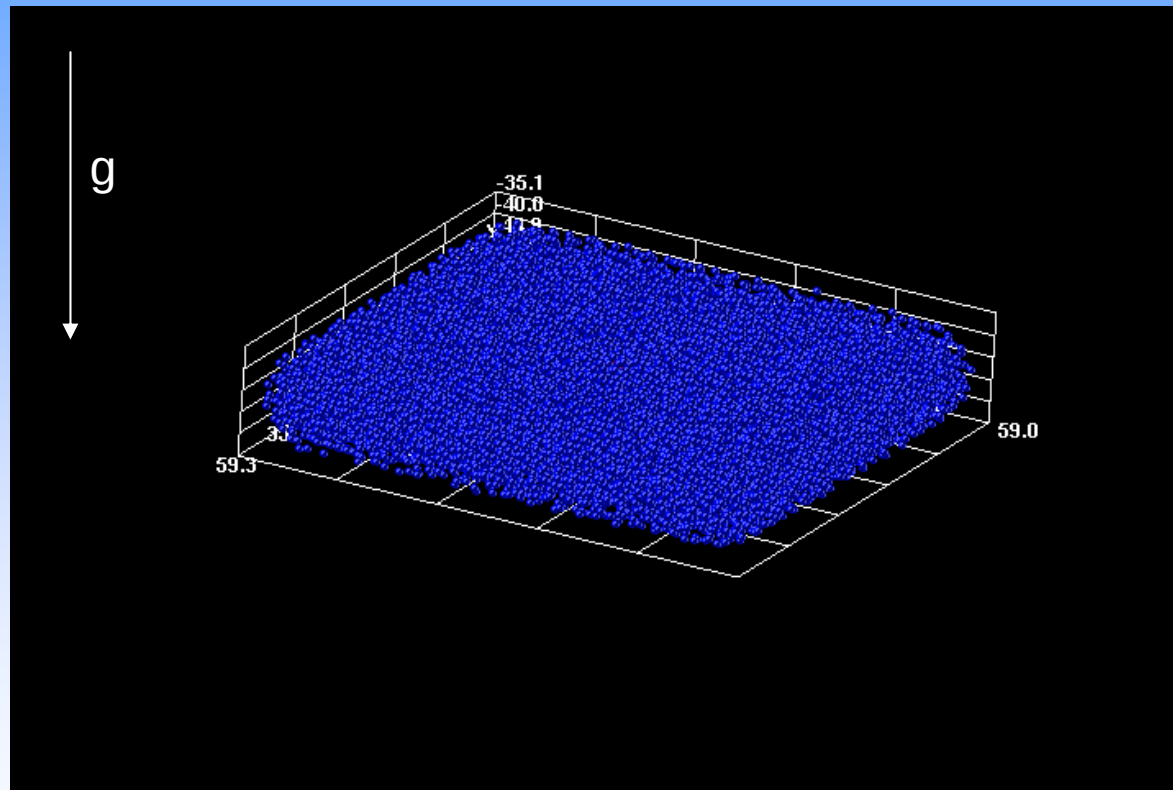
# DEMによる簡易シミュレーション例(3D):1



1. 粒子をランダムに生成
2. 重力パッキング
3. 中央部にマグマ領域を設定
4. マグマ粒子に初期速度(圧力)を与える



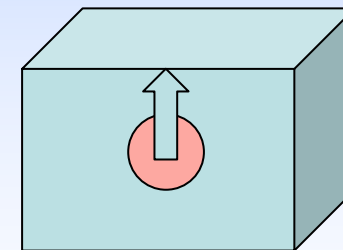
# 境界条件・初期条件



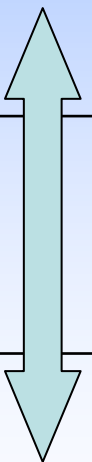
粒子数：30000個

境界条件：  
水平方向変位=0

初期条件：  
各粒子に上向き応力  
50MPa

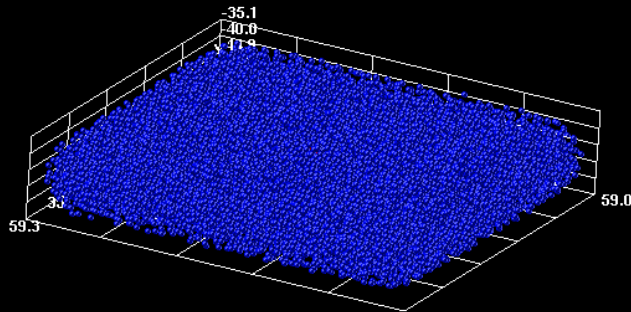


# 物性パラメータ

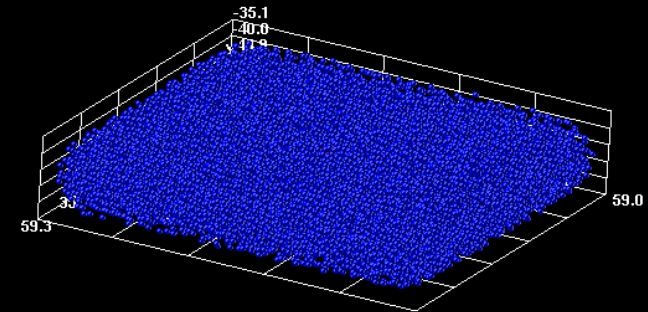
|       | Density<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | Normal<br>Spring<br>Coeff.<br>[Pa] | Normal<br>Damping<br>Coeff.<br>[Pa s] | Shear<br>Spring<br>Coeff.<br>[Pa] | Shear<br>Damping<br>Coeff.<br>[Pa s] |  | Remarks.                                                                             |
|-------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Case1 |                                 |                                    |                                       |                                   |                                      |  |  |
| area1 | 2.5E3                           | 1.0E10                             | 2.5E9                                 | 2.0E3                             | 1.0E3                                |  |                                                                                      |
| area2 | 2.0E3                           | 1.0E10                             | 2.5E9                                 | 2.0E3                             | 1.0E3                                |  |                                                                                      |
| Case2 |                                 |                                    |                                       |                                   |                                      |  |                                                                                      |
| area1 | 2.5E3                           | 1.0E9                              | 2.5E8                                 | 2.0E2                             | 1.0E2                                |  |                                                                                      |
| area2 | 2.0E3                           | 1.0E9                              | 2.5E8                                 | 2.0E2                             | 1.0E2                                |  |                                                                                      |
| Case3 |                                 |                                    |                                       |                                   |                                      |  |                                                                                      |
| area1 | 2.5E3                           | 1.0E8                              | 2.5E7                                 | 2.0E1                             | 1.0E1                                |  | weak                                                                                 |
| area2 | 2.0E3                           | 1.0E8                              | 2.5E7                                 | 2.0E1                             | 1.0E1                                |  |                                                                                      |

# DEMによる簡易シミュレーション例(3D) : 1

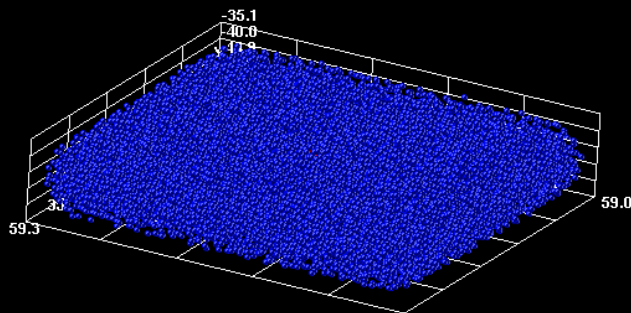
Case1



Case2



Case3

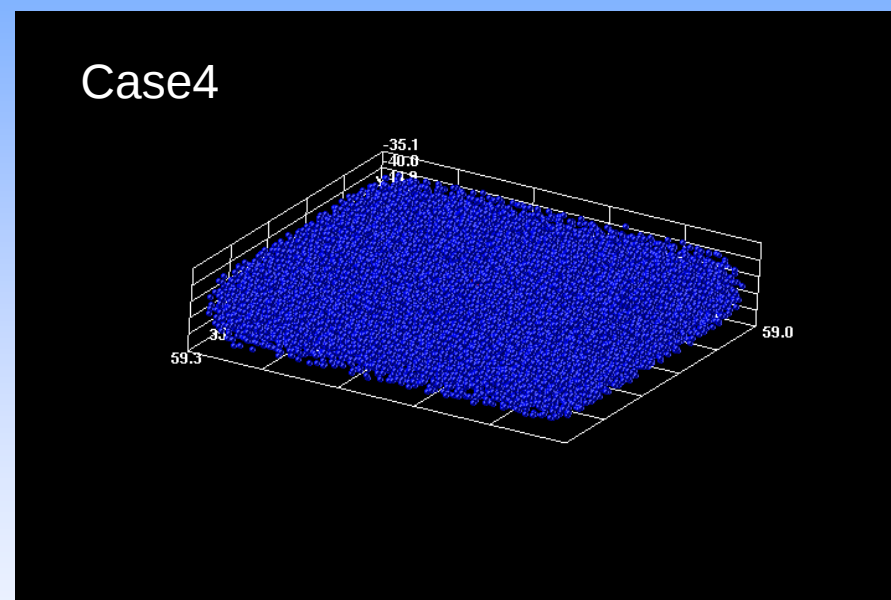
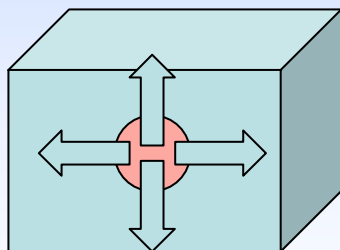


# DEMによる簡易シミュレーション例(3D) : 2

粒子数：30000個

境界条件：  
水平方向変位=0

初期条件：  
各粒子に放射状応力  
100MPa

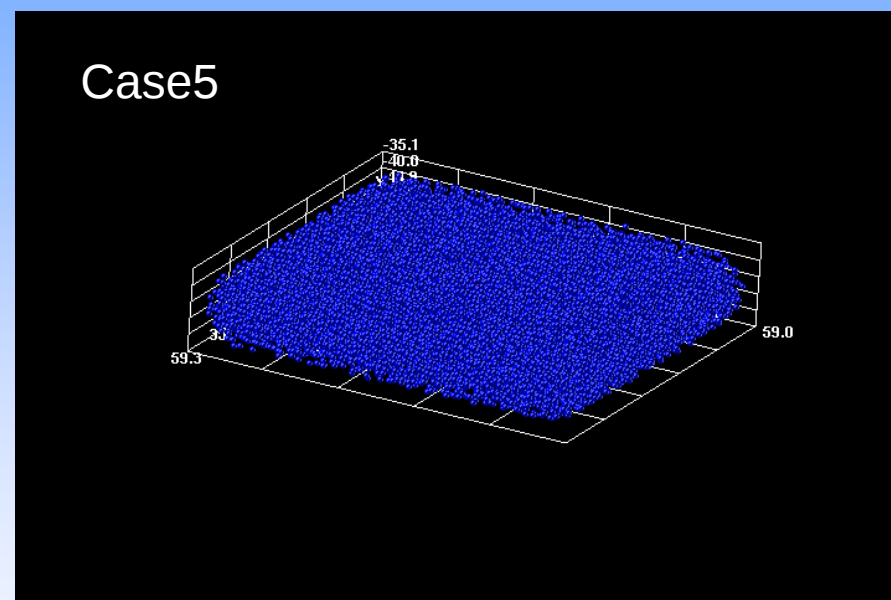
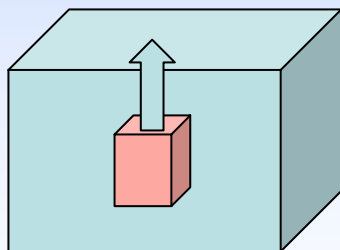


# DEMによる簡易シミュレーション例(3D) : 3

粒子数：30000個

境界条件：  
水平方向変位=0

初期条件：  
各粒子に鉛直上向応力  
100MPa



## 今後の定量的な検証方法

- 弾性体モデル(Mogi/Okada)との定量的比較
  - 面的な変動パターン
  - 変位・傾斜・ひずみ量
  - 個別粒子（観測点）の動き
- パラメータ感度解析（物性など）
- 遠方の境界条件の設定法
- 不均質応力場の効果

## まとめ・課題

- 個別要素法による岩脈貫入シミュレーション  
– 定量的に評価するコード開発
- マクロな物性とミクロな物性の関連付け
- マクロ現象（地殻変動）とミクロ現象（破壊）  
の取り扱い  
→ ミクロとマクロをそれぞれ計算し並列化等
- 実際の山体地形の粒子による表現