

## 個別要素法を用いた岩石の一軸圧縮数値シミュレーション

### Numerical simulation of uniaxial compression of rock using distinct element method

# 岩瀬 康行[1], 松田 裕也[2]

# Yasuyuki Iwase[1], Yuya Matsuda[2]

[1] 広大・理・地惑, [2] 広大・理・地球惑星シス

[1] Dept. Earth & Planet. Syst. Sci., Hiroshima Univ., [2] Earth and Planetary Syst. Sci., Hiroshima Univ.

本研究では破壊に伴う現象を明らかにするため、個別要素法を基本とした数値シミュレーションコードを作成し、岩石一軸圧縮数値シミュレーションを行った。個別要素法は、本来物体を要素の集まりだと考える不連続体解析法であるので、連続体も扱うため要素間に「結合」を導入した。規則配置で実際の岩石に近いパラメータで計算を行った結果、破壊後の岩石の形状は円錐状を示し、実験で観察される形状と良く一致している。重力の効果をなくした場合、亀裂が試料の上下の縁から内部へ進行し、規則配置モデルでは円錐状亀裂が発生することが示された。ランダム配置モデルでは対称的な亀裂の発達は見られなかったが、斜交する破断面が観察された。

地球・惑星の形成・進化において「破壊」は重要な役割を担って来た。破壊の研究は実験的手法・理論的手法で多数行われて来ているが、破壊プロセスの動的な解析は未だ十分に行われていない。本研究では岩石破壊のダイナミクスを理解するために、個別要素法を用いて岩石の一軸圧縮数値シミュレーションを行った。個別要素法(Cundall, 1971)とは、扱う物体を連続体ではなくある大きさを持った要素の集まりであるとし、粘弾性的な相互作用などの外力が作用した時の各要素の運動を記述する手法である。個別要素法は不連続体解析のために開発された手法であるので、我々は破壊前の要素同士に「結合」を導入することで連続体から不連続体への変化を追跡可能とし、岩石破壊に適用可能とした。「結合」はクーロン・モールの破壊基準を満たすと消滅するとした。「結合」状態では要素同士の相対回転は許さないが、破壊が起こり「結合」が消滅すると要素同士は摩擦により回転することを許すものとし、消滅後は二度と要素間の「結合」が起こらないものとした。また、本研究では要素同士の回転の効果を調べるために、破壊前後共に回転を許さないモデルと破壊前後共に回転を許すモデルを用いての比較も行った。なお、本研究では簡単のため半径が等しい球形要素を用いた。

この拡張した個別要素法による数値シミュレーションコードを作成し、これを用いて岩石の一軸圧縮のシミュレーションを行った。岩石の形状は底面の1辺と高さの比がおよそ1:2の直方体とし、上下面を一定速度で移動させることにより定歪み速度(0.001/s)で一軸圧縮シミュレーションを行った。要素の初期配置は規則的に配置(面心立方格子型・体心立方格子型)したものとランダムに配置したものをを用いた。要素数は約1000個である。面心立方格子型配置で実際の岩石に近いパラメータで計算を行った結果、破壊後の岩石の形状は円錐状を示した。これは実際の岩石を用いた実験で観察される形状と良く一致している。圧縮による亀裂の発達のために注目するために重力の効果を取り除いたモデルでは、亀裂がモデル岩石の上下の縁から内部へ向かって進行し、規則配置モデルでは円錐状亀裂が発生することが示された。ランダム配置モデルでは対称的な亀裂の発達は見られなかったが、斜交する破断面が観察された。また、破壊発生前は応力は岩石中全体でほぼ同程度であるが、まず上下の縁に集中が起こり、亀裂の発生により亀裂発生個所の応力が緩和され、遅れて亀裂が発生しなかった部分の応力が緩和されて行くことが分かった。

回転に関する他のモデルとも比較では、常に回転を許すと亀裂は発生するが分離は起こらないことが示された。一方、回転を禁止したモデルでは岩石試料は破壊による応力低下後も弾性的な挙動を示し、現実的ではない。これは圧縮軸方向の並進運動が、軸に垂直な方向の並進運動または回転運動に自然に変換されるために、本論文で提唱した回転モデルが適していることを意味している。

岩石破壊を個別要素法により数値シミュレーションするためには回転の考慮が重要であり、本研究で用いた「結合」状態では要素同士の相対回転は許さないというモデルは岩石破壊実験とよく一致している。