

関西大学大学院工学研究科 学生員 ○高藤 早織

JR 西日本(株) 正会員 辰巳新太郎

関西大学大学工学部 正会員 楠見 晴重

1.はじめに

岩盤構造物を扱う上で、岩石の力学的特性を把握することは重要である。本研究は、最も基礎的な試験である一軸圧縮試験を、数値解析手法の1つである個別要素法を用いて、3次元シミュレーション解析を試みた。それによって、岩石供試体の破壊状況の可視化を行い、破壊挙動の一連の様子の把握を試みた。また、現実では困難である供試体内部の応力状態の観察を行い岩石の力学的特性の検討を行った。

2.解析概要

2.1 個別要素法

個別要素法とは、P.A.Cundall¹⁾によって考案された、不連続体を対象とした解析手法の1つである。数値シミュレーション対象を微小な粒子の集合体とし、各粒子に運動方程式(式(1))を立てることで、岩盤などの動力学的挙動を解析する方法である。また、粒子間に仮想バネを設け、その作用力から加速度、速度、変位を算出することにより、粒子の挙動の追跡が可能となる。

$$m \cdot \ddot{\mathbf{u}} + C \cdot \dot{\mathbf{u}} + F = 0 \quad (1)$$

2.2 ボンディング力

本研究の解析対象である岩盤では、接触する粒子は何らかの方法で密着しているため、個別要素法の反発力のみではこれを十分表現することが出来ない。そこで、粒子の距離が少し離れると粒子を引き戻そうとする引張力としてボンディング理論²⁾を導入し、個別要素法による連続体解析を可能とした。本解析の粒子の初期状態は、 gap_0 で重なりっており、粒子に r_{b1} と r_{b2} のボンディング半径を定義する。Fig.1は、粒子概要図、Fig.2は、粒子に働く作用力と粒子の距離について示したものである。 r_{b1} は引張力が降伏に至る距離、 r_{b2} はボンディングが破断する距離を示しており、粒子が r_{b2} を超えるとボンディングが破断される。以上のように定義されたボンディング力は、以下のように定式化できる。

$$F_{ij} = \begin{cases} K_{b1} \cdot D - r(i) + gap_0 & (r(i) - gap_0 < D < r_{b1}) \\ K_{b2} \cdot D - r(i) + gap_0 & (r_{b1} < D < r_{b2}) \\ 0 & (r_{b2} < D) \end{cases} \quad (2)$$

2.3 解析モデル

Fig.3は、解析モデルを示す。モデルは、直径5cm、高さ10cmのインタクト供試体で、粒子は0.125cmの等径で、約2万個である。粒子は六方最密充填構造に配列されており、供試体の上面と底面に圧縮壁を設け、等大逆向きの速度で動かすことで、一軸圧縮試験を行う。なお、供試体の側面に拘束壁は設けていない。

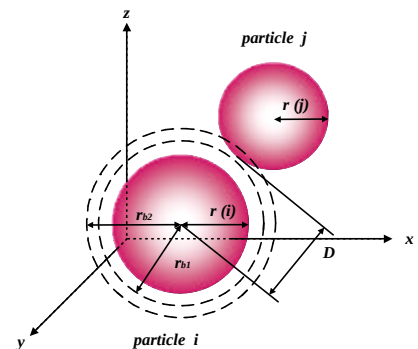


Fig.1 Position of particles.

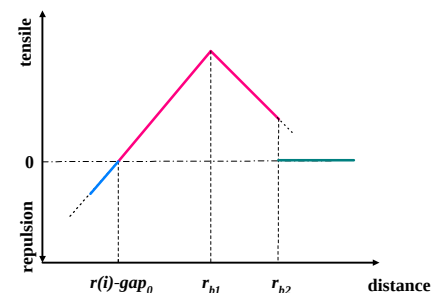


Fig.2 Relation between applied force and distance between particles.

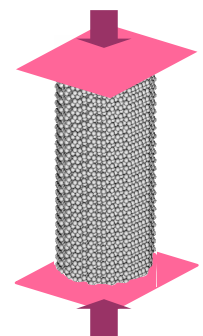


Fig.3 Rock specimen.

3. シミュレーション解析

3.1 応力 - ひずみの関係

Fig.4 は、解析結果から得られた軸応力 - ひずみの関係を示したものである。圧縮壁により圧縮荷重が載荷されると、軸ひずみは一次関数的に増加し、破壊に至ることが確認される。一軸圧縮強度は 26.29MPa と算出され、既往の研究で得られたセメント供試体の一軸圧縮強度 26.36MPa とよく一致していることから、モデルがセメント供試体をよく表現できていると考えられる。

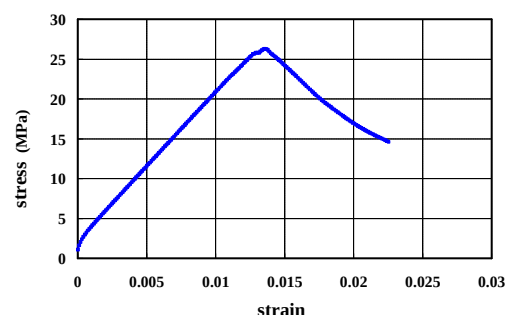


Fig.4 The stress-strain curve.

3.2 破壊状況

Fig.5 は供試体の破壊挙動を示したものである。圧縮の進行に伴い、供試体の端面から中心に向かって円錐状にせん断面が進行し、破壊に至る様子が確認される。このような円錐状の破壊は、比較的均質な構造の岩石に見られる。本研究は等径粒子を用いていることから、均質な岩石供試体のシミュレーションに適してと考えられる。また、実験でよく見られる、供試体の中央部が膨張する現象、いわゆる樽型の変形挙動をよく表現できている。

3.3 内部応力の可視化

Fig.6 は、供試体の内部応力を示したものである。圧縮の進行に伴い、圧縮壁が作用する供試体端面に応力が生じる。その後、供試体の端面から中心に向かって応力の伝達が行われていることが確認される。応力は、せん断面に集中して発生しており、破壊形状とよく一致していることが認められる。

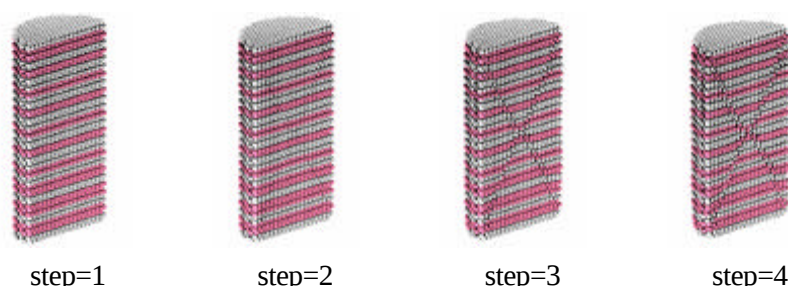


Fig.5 Destructive behavior for uniaxial compression.

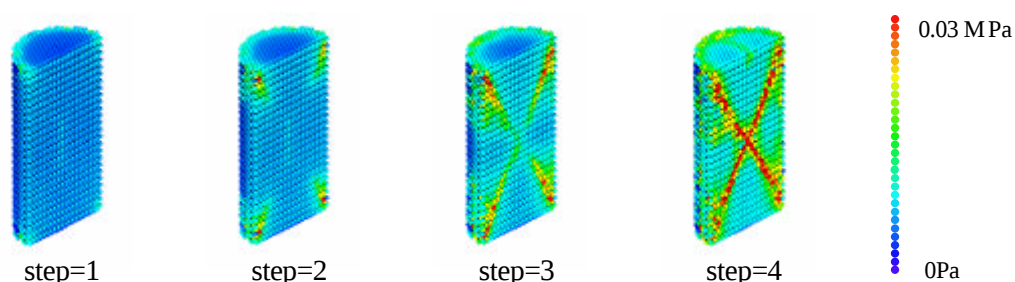


Fig.6 Stress distribution for uniaxial compression.

4. まとめ

- ・等径粒子を用いた一軸圧縮シミュレーション解析において、セメント供試体を表現することが可能となった。また、これまで行うことができなかった、供試体の内部応力を算出することが可能となった。

参考文献

- 1) Cundall, P.A. : A computer model for simulation progressive, Large scale movement in blocky rock system, Symp. ISRM Nancy France Proc. , Vol, pp129-136 , 1991.
- 2) F. Donze , P. Mora and S. Magnier : Numerical simulation of faults and shear zone , Geophys. J. Int. Vol. 116 , pp. 46-52 , 1979.
- 3) 岩の力学委員会：岩の工学的性質と設計・施工への応用，土質工学会，pp.220-223，1982. Vol.1，1965.