

個別要素法による自然な岩盤不連続面の3次元せん断シミュレーション解析

関西大学大学院 学生会員 ○高藤 早織

関西大学工学部 フェロー 楠見 晴重

1. はじめに

岩盤構造物の安全な設計・施工には、岩盤不連続面のせん断メカニズムの解明が求められている。また岩盤構造物を建設する際、多くの費用と時間を要す事前調査が必要とされています。本研究はせん断メカニズムの解明を試み、事前調査における改善を目的とし、岩石の力学的特性を把握するための最も基礎的な試験である直接せん断試験を行う。解析には個別要素法を用い、コンピュータ上での3次元化を試みた。また、解析結果をアニメーション化し、岩石供試体の破壊過程の可視化を行い、岩石破壊の一連の挙動を把握することを試みる。

2. 研究手法

2.1 個別要素法

本研究は 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つである個別要素法を用いて行っている。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。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

岩盤などを考えたとき、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、粒子の距離が離れると粒子を引き戻すような力として、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することを試みた。図-1は、粒子の概要図である。本研究では、粒子の初期状態は gap_0 で重なるものとし、粒子にボンディング半径(r_{b1} , r_{b2})のを定義する。 r_{b1} で引張力が降伏に至り、 r_{b2} でボンディングが破断する。粒子が r_{b2} より大きくなると作

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

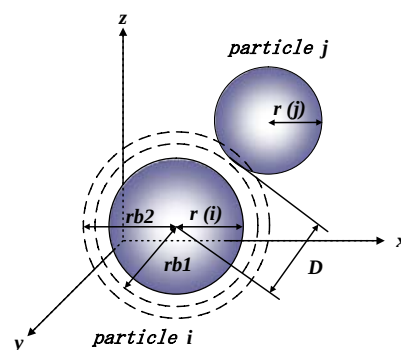


図1 粒子の概要

用力は0となり、ボンディングが破断される。以上のように定義された粒子に働く作用力は、式(2)のように定式化できる。

3. 解析モデル

解析モデルは、現場で採取された自然な不連続面を有するボーリングコアから、不連続面を含む部分を切り出し型枠取りする。そこにジェットセメント（ジェットセメント：水＝1：0.4）を流し込み、作成された供試体の不連続面部分を、表面形状計測装置を用いて計測する（図2）³⁾。計測された点に直径2.0mmの粒子を配置させ、不連続面のモデルを作成する（図3）。粒子で作成した不連続面に直径2.0mmの等径粒子を重力パッキングし、モデルを作成する（図4）。粒子数は供試体上部が18136個、下部が17816個である。

4. 解析結果

図5、図6に解析の結果を示しており、ともに供試体の下部だけを抽出したものである。図5はせん断の

キーワード 個別要素法, 岩盤不連続面, せん断試験, シミュレーション

連絡先 〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号 関西大学工学部地盤システム工学研究室 TEL06-6368-083

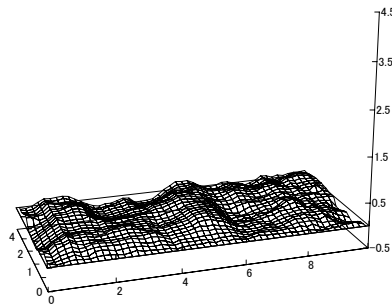


図2 表面形状データ



図3 解析に用いた不連続面

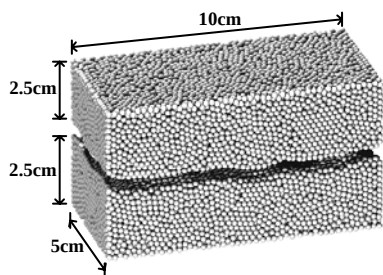


図4 解析モデル

進行に伴い、ボンディングが破断した粒子を赤色で示したものである。解析の結果、不連続面上におけるボンディングの破断はそれほどみられなかった。図6はCundallによって提案されたせん断応力の算出

手法¹⁾を用いて、供試体内部におけるせん断応力を可視化したものである。粒子が白色から青色に変化するにつれてせん断応力が大きくなるものとする。解析の結果、せん断が進行するにともない、比較的鋭角なアスペリティが存在する部分に応力が集中していることが確認され、実験結果と一致することが認められた。

5. まとめ

本研究は、ボンディング力を考慮した個別要素法を用いて自然な不連続面を有する供試体のせん断シミュレーション解析を行なった。せん断の進行に伴って、鋭角なアスペリティ部分に応力が集中する様子を確認することができた。最後に、本研究は関西大学大学院工学研究科高度化推進研究費の補助を受けた。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) Cundall.P.A. and Strack.O.D.L. : A Discrete numerical model for granular assemblies, Geo technique, 29(1), 47-65,1979.
- 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) 杉野友通, 山田亮介, 楠見晴重 : 自然な岩盤不連続面の空隙状況およびラフネスを考慮したせん断強度式, 日本材料学会誌「材料」, 日本材料学会, Vol.52, No.5, pp.483-487, 2003.

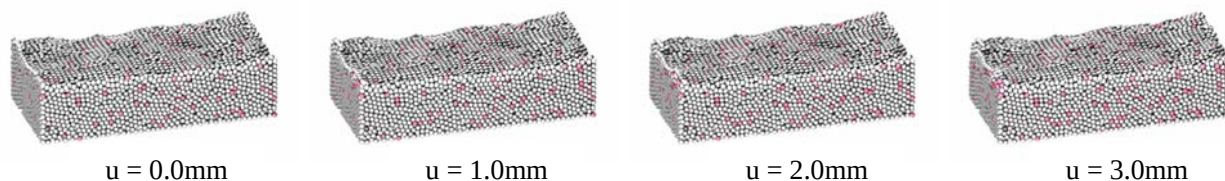


図5 下部供試体におけるボンディング破断

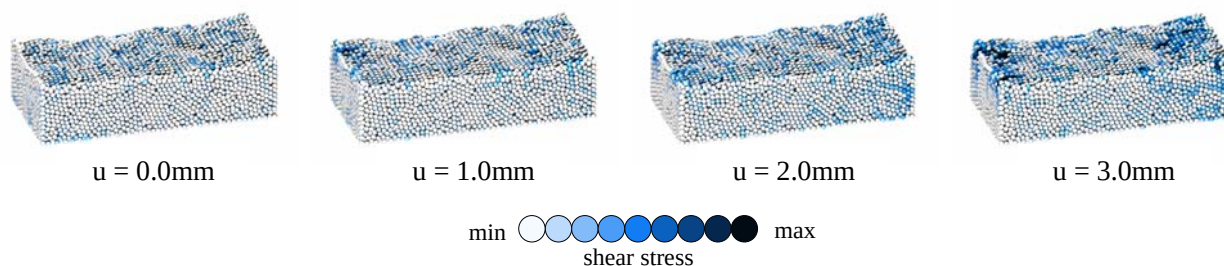


図6 下部供試体におけるせん断応力分布