

関西大学大学院 学生員 ○辰巳新太郎

関西大学工学部 フェロー 楠見 晴重

京都大学大学院 正会員 松岡 敏文

京都大学大学院 正会員 芦田 譲

1. はじめに

従来、岩盤不連続面のせん断挙動に対して実験的手法から様々な考察がなされている。しかし、実験によるせん断前後における岩盤不連続面の破壊状況を評価することは可能であるが、せん断過程途中に起こる不連続面の変形状況、内部の応力状況を観察することは不可能である。そこで本研究では、JRC 標準断面を有する不連続岩盤のせん断挙動について、個別要素法を用いてシミュレーション解析を行い、せん断時の不連続岩盤に対するその有用性とせん断過程の内部の応力状態について検討した。

2. 解析手法

2.1 個別要素法

個別要素法では、シミュレーション対象を粒子の集合体と考え、各粒子に運動方程式を立てる。各粒子間には仮想ばねが設定されており、粒子間の距離が変化することでフックの法則から復元力が生じる。この運動方程式を解くことで各粒子の挙動を追跡し、集合体全体の力学的挙動を把握する手法である。ただし、本研究では岩盤を対象としているため、距離に比例したボンディング力（引張力）を定義している。粒子の外側に、rb1 と rb2 の2種類のボンディング半径を定義する。rb1 は引張力が降伏に至る距離、rb2 はボンディングが破断する距離を示している。¹⁾

2.2 解析モデル

本研究では、垂直応力一定、せん断変位制御の直接一面せん断試験を対象として、シミュレーション解析を行った。供試体モデルの上下に拘束壁、左右にせん断壁をせん断試験機と同様に設定した。拘束壁は、設定された応力値よりも壁に作用する応力が大きくなると、その応力を開放する方向に移動する。逆に、設定した応力値よりも作用した応力が小さくなると圧縮する方向へ移動する。これは、実際のせん断試験機とほぼ同様な機構で垂直応力を一定に制御することができる。せん断壁は、変位制御により 5mm まで行った。

3. せん断特性

3.1 供試体モデルのせん断挙動

図-1 は、JRC=18~20 の供試体モデルのせん断過程における挙動を示したものである。シミュレーション結果から、アスぺリティに沿って乗り上がりが生じていることが確認できた。ボンディングの破断箇所を色分けすることでアスぺリティに破壊が生じていることが確認できた。岩盤不連続面のせん断挙動として、乗り上がりと破壊の両方が同時に進行するという減少がよく表現できている。



図-1 せん断挙動 (JRC=18-20)

3.2 セン断応力・せん断変位曲線

図・2 は、シミュレーション解析から得られたせん断応力・せん断変位曲線を示している。変位の進行と共に一次的に増加し、ピークに達した後はほぼ一定の値となっている。このことから、定性的に岩盤不連続面のせん断挙動を表現できていると考えられる。

3.3 垂直変位・せん断変位曲線

図・3 は、シミュレーション解析から得られたダイレーション挙動を示している。せん断初期段階においては、乗り上がり卓越する挙動を示すことから増加傾向にあるが、せん断の進行に伴いアスペリティの破壊が生じるため、ダイレーション角が減少していく挙動が見られる。

4. 応力分布

図・4 は、高い応力がかかっている粒子の色を変化させることにより、応力の分布状況を可視化したものである。せん断初期状態では、三つのアスペリティに応力が集中して発生している様子がわかる。せん断の進行に伴い、鋭角なアスペリティが破壊するためそこで応力開放が起こり、他の2つのアスペリティに応力が集中する様子が確認できる。さらにせん断が進行すると、次に鋭角なアスペリティが破壊するため、同様に応力開放が起こり残りのアスペリティに応力が集中する様子が確認できる。このように、アスペリティの破壊により応力集中箇所が遷移する現象が明らかになった。

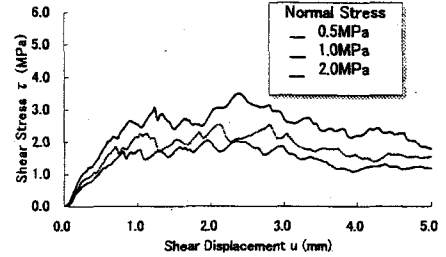
5. まとめ

以下に、本論分により得られた知見を示す。

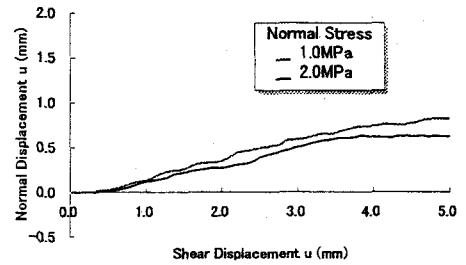
- ① 破壊を伴う岩盤不連続面のせん断挙動が、個別要素法を用いて表現できた。
- ② 応力-変位関係、ダイレーション挙動から、定性的にせん断挙動を表現できていると考えられる。
- ③ 実験においては不可能であるせん断過程中的の内部応力分布を可視化でき、アスペリティの破壊に伴い応力の集中箇所が遷移する現象が見られた。

6. 参考文献

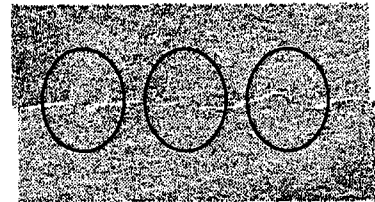
- 1) 杉野友通、楠見晴重、芦田譲：ボンディングを用いた個別要素法による岩石供試体のせん断解析,平成13年度土木学会関西支部年次学術講演概要集,Ⅲ・40,2001



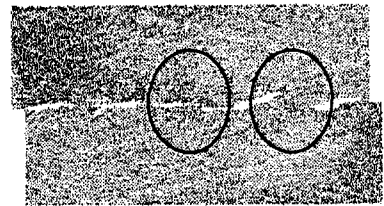
図・2 応力・変位曲線



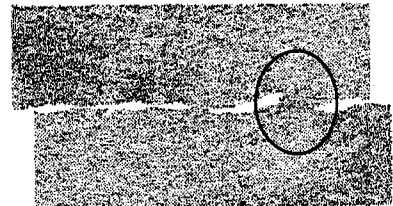
図・3 ダイレーション挙動



a) step=230000



b) step=290000



c) step=350000

図・4 内部応力分布