

個別要素法による岩盤不連続面のせん断時のラフネス変化に関するシミュレーション解析

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 讓

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不連続面形状変化について検討した。

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、アスペリティに沿って乗り上がりが生じている様子が確認できた。ボンディングの破断箇所を色分けすることでアスペ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。

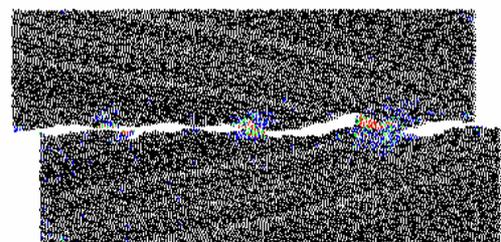


図-1 せん断挙動 (JRC=18-20)

キーワード 岩盤不連続面、せん断、個別要素法

連絡先 〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35 関西大学大学院工学研究科土木工学専攻 06-6368-0837

3.2 せん断応力-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、乗り上がりが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. 表面形状

本研究では、実験では見ることの出来ないせん断過程における表面形状の変化に注目した。また、解析と実験のせん断試験前後の表面形状を比較することで、解析の妥当性を検討した。

図-4は、解析において JRC19 供試体のせん断を行い、そのせん断変位が 0.0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0mm の時の表面形状を示したものである。せん断初期では鋭角な最もアスペリティが破壊しており、その後せん断が進行するにつれて、さらに鋭角なアスペリティが徐々に削れていく様子が確認できる。

また、解析と実験のせん断後の表面形状を比較したところ、破壊および削れの生じる場所、方向、規模等がよく一致していることから、本解析の妥当性を示すことが出来た。

5. まとめ

以下に、本論分により得られた知見を示す。

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。

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。

実験においては不可能であるせん断過程中的の不連続面の形状変化を本解析を用いることにより考察することが可能となった。

せん断過程においては鋭角なアスペリティから順に、破壊されていく様子が確認できた。

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, -40, 2001

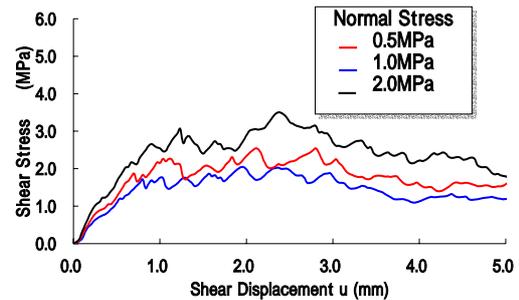


図-2 応力-変位曲線

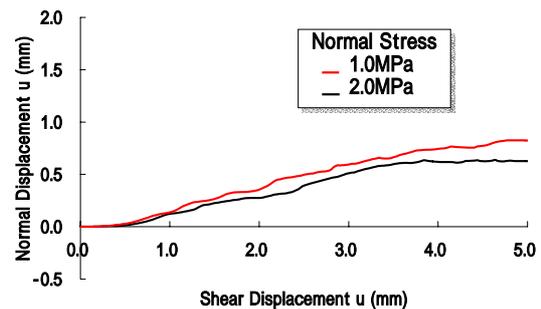


図-3 ダイレーション挙動

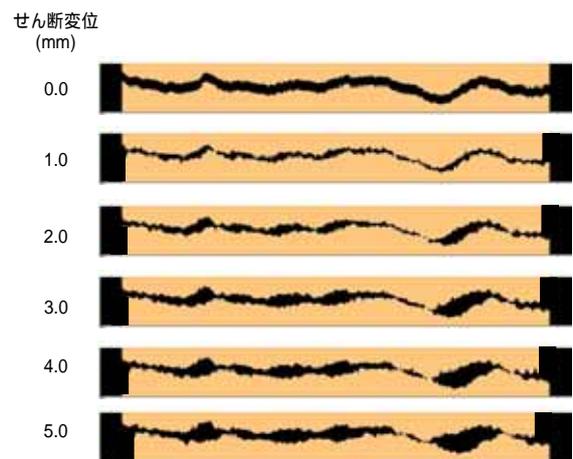


図-4 せん断に伴う表面形状変化(JRC18-20)