

第 部門 個別要素法による岩盤斜面の崩壊シミュレーション解析

関西大学工学部 学生員 大槻 敏
 (株)鹿島建設 正会員 藤井 健次
 関西大学工学部 フェロー 楠見 晴重

1. はじめに

我が国の岩盤斜面や急傾斜面は、厳しい自然条件のもとで、常に不安定になる要素を有している¹⁾。岩盤斜面の安定や落石問題に社会の関心が集まるようになる中で、岩盤の複雑な挙動を把握するため、DEM、RBSM、DDA といった幾つかの優れた不連続体の数値解析手法が開発されてきたが、岩盤の挙動を正確にシミュレートできる有効な手段を得るには至っていない。その主な理由として、岩盤には不連続性岩盤と称する断層や節理などの無数の亀裂や弱部が含まれており、材料としての連続性が失われるため、分離した岩塊の集合として取り扱うべき挙動を示すことが多いこと、強い不均質性などがあげられている²⁾。本研究では、ボンディング理論を導入した個別要素法を用いて、岩盤斜面の崩壊メカニズムの解明の一助となるように崩壊の再現、崩壊中の亀裂の進展・内部応力の可視化を試みた。

2. 解析手法

2.1 個別要素法

個別要素法とは、P.A.Cundall によって考案された解析手法であり、主に岩盤や地盤と言った不連続体を対象としている。数値シミュレーション対象を微小な粒子を集合体として巨視的に捉えることにより、岩盤などの動力学的挙動を解析する方法である。個々の粒子間に仮想のばねを配し、その作用力から加速度、速度、変位を算出することで粒子の挙動の追跡が可能となる。図1は粒子を微視的にみたもので、運動方程式は式(1)により求まる(C は減衰係数)

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

また、粒子間の反発力は式(2)から求める(k はばね定数、 Δn はオーバーラップ)

$$F_{ij} = k \cdot \Delta n \quad (2)$$

2.2 ボンディング理論

岩盤のような固体に対して粒状体のモデルを適用する場合、粒子間に作用する力は反発力のみではない。コンクリートや岩盤などを考えたとき、骨材や砂・砂利などの構成要素は何らかの方法で接着されており、粒子間には引張力が作用すると考えられる。そこで、本研究ではボンディング理論³⁾を導入することにより、引張力を表現した。図2に示すように、 r_{b1} と r_{b2} の2種類のボンディング半径を定義する。 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いる。つまり、接触点である r から r_{b1} まで引張力は一次的に増加し、 r_{b1} を境に r_{b2}

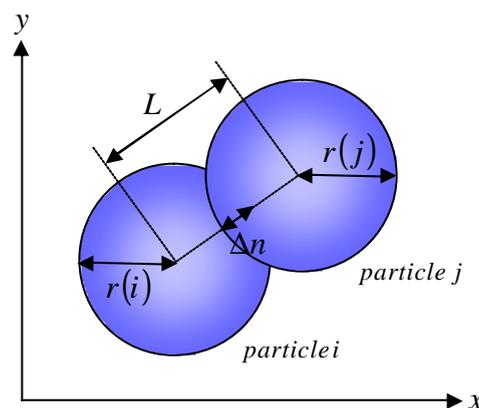


図1 微視的な粒子の関係

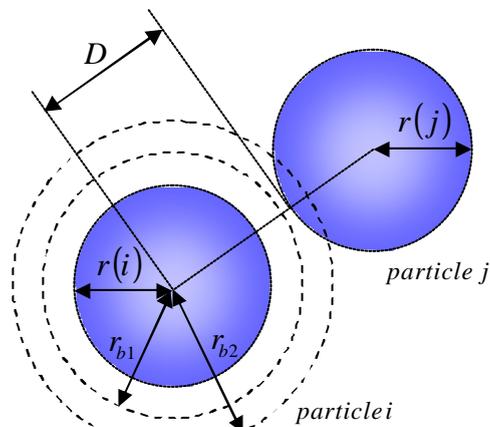


図2 ボンディング力の作用領域

まで一次的に減少する。さらに、 r_{b2} に至るとボンディングは破断し、引張力は0となる(図3)。以上のように定義されたボンディング力は、式(3)のように定式化できる。

$$F_{ij} = \begin{cases} K_{b1} \cdot (D - r_{b1}) & (r(i) < D < r_{b1}) \\ K_{b2} \cdot (D - r_{b2}) & (r_{b1} \leq D < r_{b2}) \\ 0 & (r_{b2} \leq D) \end{cases} \quad (3)$$

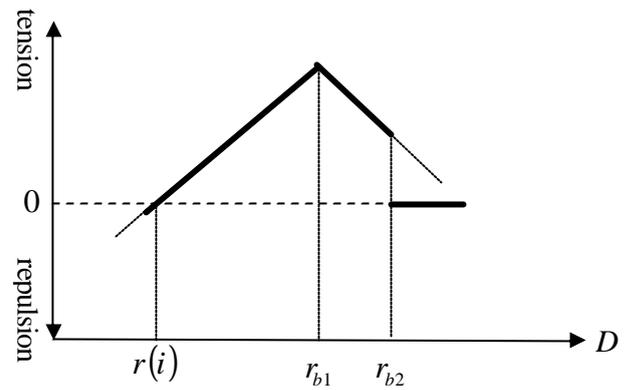


図3 粒子間作用力

3. 解析対象とした斜面崩壊

本研究では、和歌山県天鳥橋西地区で発生した岩盤斜面崩壊を取り上げた。この斜面は海岸沿いの国道を挟んだ山側の急崖であり、全岩体は最大高さ約17mの砂岩で、前面ブロックとの亀裂は大きく開口していた(図4)。1999年3月、ブロック・トップリングの様相を呈して転倒崩壊した。

4. 解析結果

4.1 崩壊挙動

図5に解析で得られた崩壊挙動を示す。崩壊を完全に収束させるには至っていないが、A3ブロックの転倒とともにA1ブロック前面の薄い岩体が剥離していく様子を確認することができる。

4.2 亀裂の進展・内部応力分布

図6・図7に崩壊中の亀裂の進展と内部応力の分布を示す。崩壊の進行とともに新たな亀裂が発生することが確認できる。また、A3ブロック内部の亀裂の発生するポイントとせん断応力が高いポイントがほぼ一致することから、ここではせん断力による破壊が生じたと推測される。

5. まとめ

本研究においては、岩盤斜面崩壊のメカニズムを解明するために、個別要素法を用いてシミュレーション解析を行なった。以下に、本研究により得られた知見を示す。

1. 崩壊中にボンディングが破断した粒子を着色することで、亀裂の進展の可視化を可能とした。
2. 各粒子に作用するせん断応力の値を算出し、斜面内部の応力状態を把握できることが確認された。

【参考文献】

- 1) 柄元泰浩,大西有三,陳 光斉:不連続性岩盤の調査・解析と評価 4.不連続性岩盤における調査・解析事例(応力変形問題)(その7),土と基礎, The Japanese Geotechnical Society, Vol.48, No.10, Ser.No.513, pp.41~46, 2000.
- 2) 岩盤斜面の考え方 現状と将来展望 [実務者の手引き],土木学会, 2004.
- 3) F.Donze, P.Mora and S.Magnier: Numerical simulation of faults and shear zones, Geophys.J.Int. Vol.116, pp.46-52, 1979.

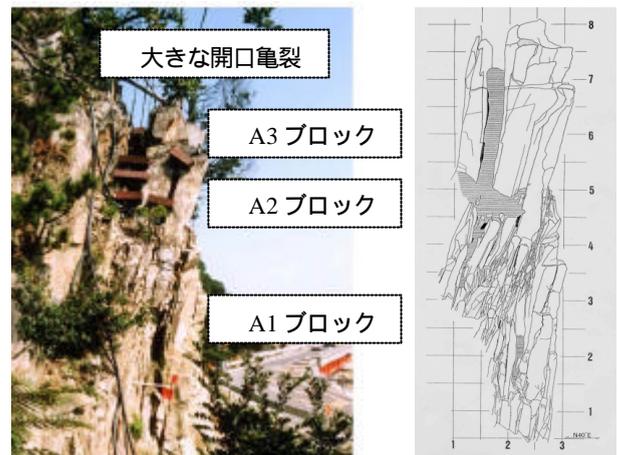


図4 斜面の写真(左)とスケッチ(右)²⁾

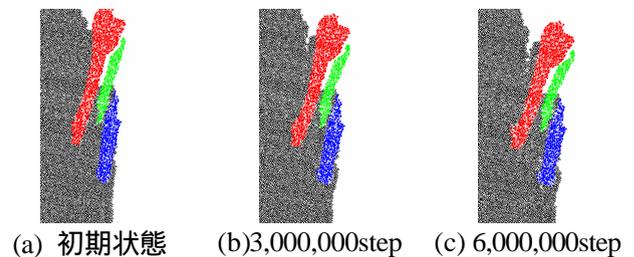


図5 崩壊挙動

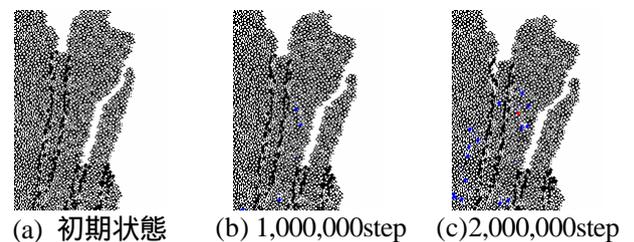


図6 亀裂の進展

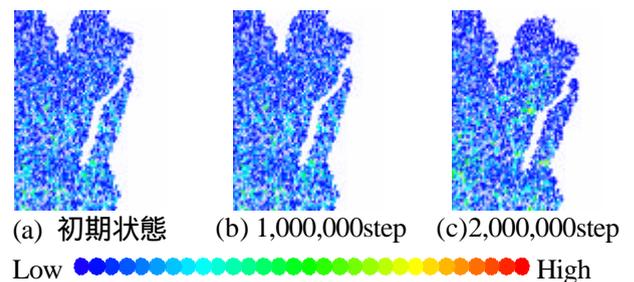


図7 せん断応力分布