

個別要素法による岩盤斜面のトッピング崩壊シミュレーション

関西大学大学院 学生会員 ○大槻 敏

関西大学工学部 フェロー 楠見 晴重

1. 緒言

我が国の岩盤斜面は、厳しい自然条件のもとで、常に不安定になる環境下にある。また、岩盤の複雑な挙動を把握するため、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などがあげられている¹⁾。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、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、粒子間の反発力は式(1)から求める(k はばね定数、 Δn はオーバーラップ)。

$$F_{ij} = k \cdot \Delta n \quad (1)$$

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く、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²⁾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} 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)。

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

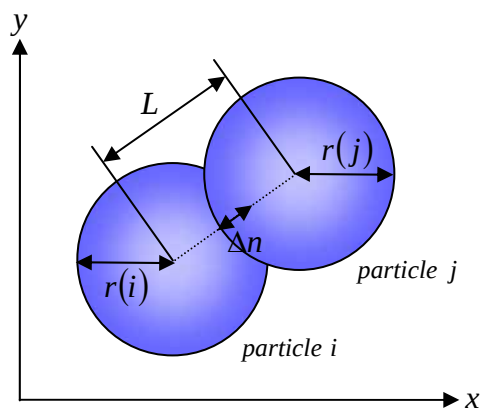


図1 微視的な粒子の関係

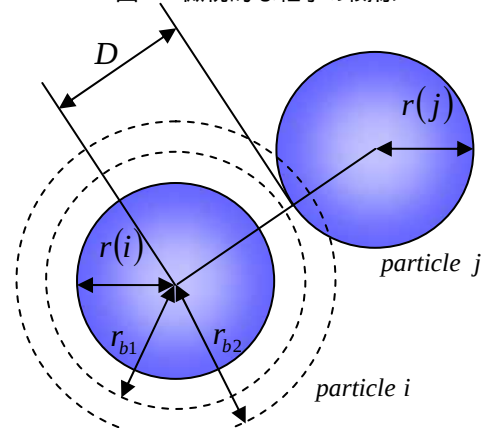


図2 ボンディング力の作用領域

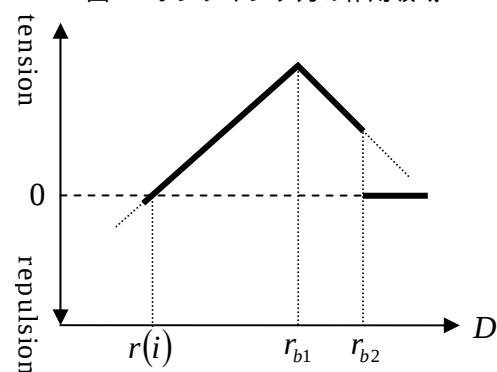


図3 粒子間作用力

キーワード 個別要素法, シミュレーション, 岩盤斜面, トッピング崩壊, ボンディング力

連絡先 〒564-8680 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 TEL 06-6368-0837

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.不連続面の表現方法

本研究では、解析モデルを構成している粒子のボンディング力を強制的に解除することにより、粒子間の引張力を無効化し、これを擬似的に既存の不連続面（図5）と見なしている。また、崩壊中にボンディングが破断した箇所は新たに発生した不連続面と考えることができる。

5.解析結果

図6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。次に、A2ブロックとA3ブロックの変位量に関して実現象（図7）とシミュレーション結果（図8）を比較した。これによると、A2ブロックの変位量がA3ブロックの変位量を上回っている。つまり、A2ブロックの傾動速度が速く、先に崩壊が進行したことがわかる。また、シミュレーション結果もA2ブロックの変位量がA3ブロックの変位量を上回っており、実現象をある程度再現できていることが確認された。

6.まとめ

本研究は、個別要素法を用いて岩盤斜面崩壊のシミュレーション解析を行なったものである。以下に、本研究により得られた知見を示す。

1. ボンディングを定義し、これを強制的に破断させることにより不連続面のモデル化が可能となることが確認された。
2. シミュレーション結果と実現象を比較することにより、解析結果の妥当性が確認された。

【参考文献】

- 1) 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.
- 2) 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¹⁾

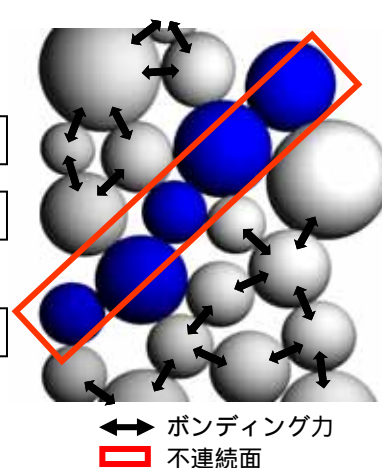


図5 不連続面の表現

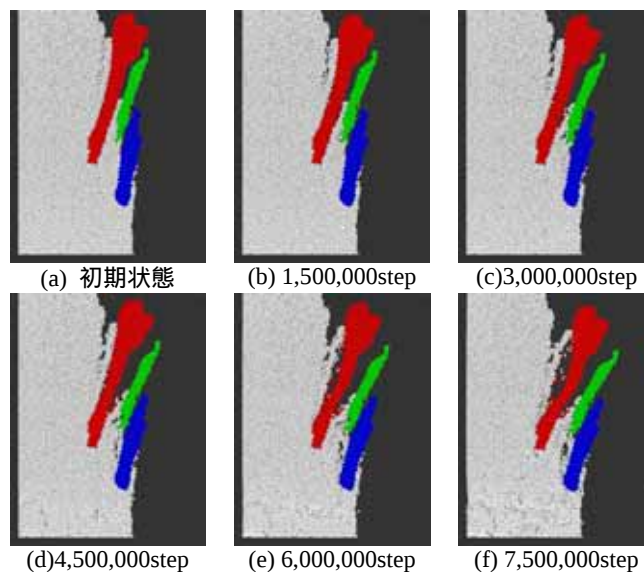


図6 崩壊挙動

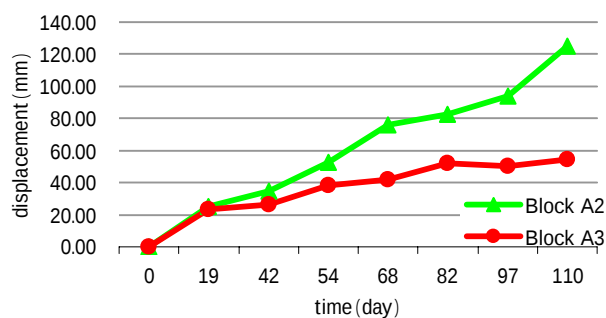


図7 ブロックの変位量（実現象）

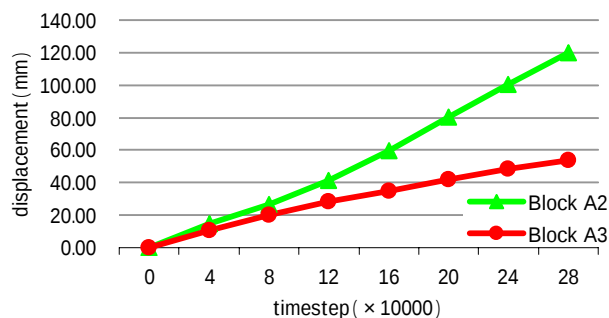


図8 ブロックの変位量（シミュレーション結果）