

関西大学環境都市工学部 学生員 ○伊世健太郎  
 関西大学環境都市工学部 フェロー 楠見 晴重  
 近畿地方整備局 正会員 山本 剛

1. はじめに

我が国では高度成長期以降、社会基盤の多くが山間部に建設され、岩盤を対象とする工事が増加してきた。しかし、岩盤斜面は常に厳しい自然環境に直面し、不安定になる要素を有している。そして、1996年北道豊浜トンネル坑口岩盤斜面崩壊をきっかけに、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り、社会生活の安全確保の施策として岩盤崩落問題への取組み・解決が危急の問題となっている。そこで本研究では、層理面が斜面崩壊に及ぼす影響の検討及び崩壊メカニズムの解明を目的とし、層理面を有した岩盤斜面をモデル化し、個別要素法を用いてシミュレーション解析を行なった。

2. 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<sup>1)</sup>であり、主に岩盤や地盤とい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の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手法である。個々の粒子間に仮想のばねを設け、その作用力から加速度、速度、変位を算出し粒子の挙動を追跡する。図-1に、粒子モデルの巨視的な関係を示す。本解析手法では、ばね定数を接触距離(Δn)に乗ずることによって、粒子間の反発力を算出している。

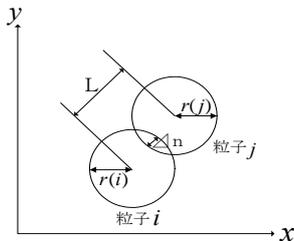


図-1 粒子モデルの模式図

3. ボンディング理論

岩盤のような固体に対して粒状体モデルを適用

する場合、粒子間に作用する力は反発力のみではない。そこで、本研究ではボンディング力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。すなわち、接触点である $r(i)$ から $r_{b1}$ まで引張力は一時的に増加し、 $r_{b1}$ を境に $r_{b2}$ まで一時的に減少する。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。以上のように定義された反発力及びボンディング力は、以下のように定式化できる。

$$F_{ij} = \begin{cases} K \cdot \Delta n & (D < r(i)) \\ K \cdot (D - r(i)) & (r(i) < D \leq r_{b1}) \\ K \cdot (r_{b2} - D) & (r_{b1} < D \leq r_{b2}) \\ 0 & (D > r_{b2}) \end{cases} \quad (1)$$

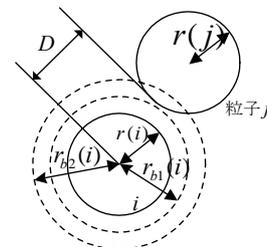


図-2 ボンディング半径の定義

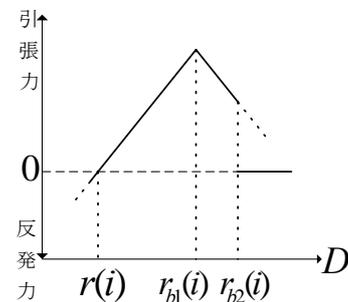


図-3 粒子間作用力

4. 解析概要

解析モデルは、重力場における自然落下によって粒子を解析領域に充填し、それを斜面形状に切

り取り作成した。対象斜面の断面図から地質構造を読み取り、解析モデルに反映させる。対象斜面は砂岩と頁岩が交互に重なった地質構造を有しており、それぞれに異なるボンディング半径を設定し、引張強度の相違を表現している。図-4(a)は全てが砂岩で構成されていると仮定した場合のCase01、図-4(b)は地質構造を反映させた場合(白色粒子：砂岩、青色粒子：頁岩)のCase02の解析モデルを示している。なお、解析モデルは、8133個の粒子で構成されている。

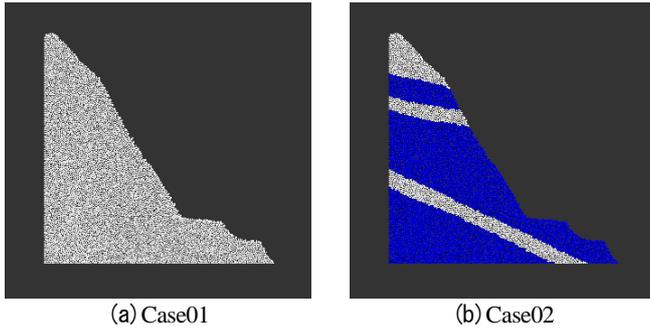


図-4 解析モデル

## 5. 解析結果

### (1) ボンディング破断数

Case01 と Case02 において、ボンディング破断数に違いが生じた。図-5 はボンディング破断数とタイムステップの関係を示している。Case02 では、およそ 3,500,000step で急激にボンディング破断数が増加していることがわかる。

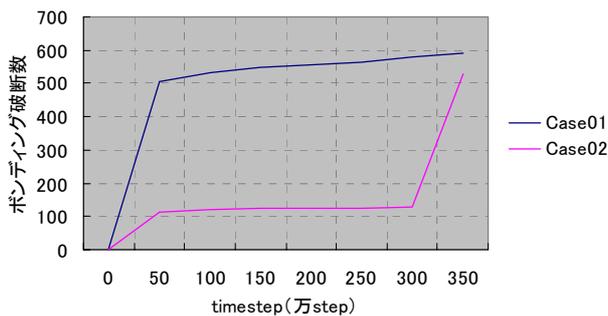


図-5 ボンディング破断数とタイムステップの関係

### (2) 不連続面の形成

ボンディングの破断した粒子を色付けすることにより、不連続面の形成位置を断定した。図-6 に、Case01, Case02 それぞれの 3,500,000step における図を示す。これより、Case02 では層理面付近のボンディングが破断し、斜面内部及び表面に不連続面が形成されたことがわかる。なお、白色粒子はボンディングの破断がない粒子を、青色

粒子は 1 箇所、赤色粒子は 2 箇所、緑色粒子は 3 箇所以上でボンディングが破断した粒子を示している。

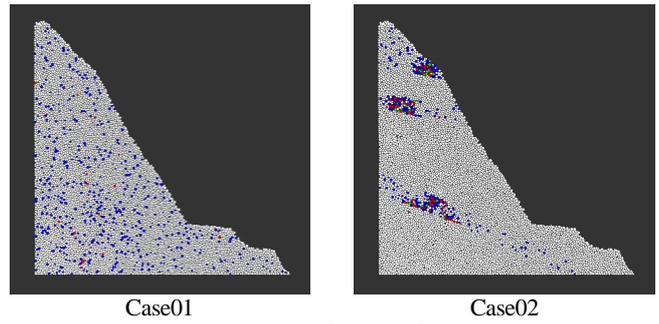


図-5 不連続面の形成位置

### (3) 実現象との比較

図-6 は、Case02 で形成された不連続面の位置と、実現象の崩壊岩塊(赤色粒子)の位置を比較したものである。これより、実現象に近いシミュレーション解析を実施し、表面付近に形成された不連続面と崩壊岩塊の上部が一致していることがわかる。すなわち、対象斜面の持つ特有の地質構造が崩壊要因の 1 つであると言える。

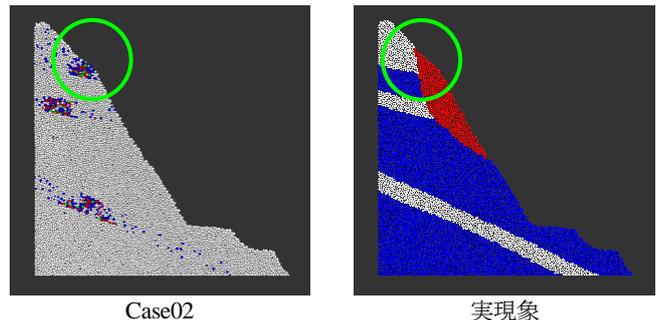


図-6 実現象との比較

## 6. まとめ

粒子数 8133 個の解析モデルを作成し、シミュレーション解析を行なった。地質構造を反映させた場合とさせなかった場合とを比較することにより、層理面の影響を確認し、対象斜面の持つ特有の地質構造が崩壊要因の 1 つであることを推測した。また、ボンディングの破断した粒子に色付けし不連続面の形成位置を可視化することで、斜面内部に形成される不連続面を確認した。

### 参考文献

- 1) Cundall, P.A : A computer model for simulation progressive, large scale movement in blocky rock system, Symp. ISRM, Nancy, France, Proc. Vol2, pp.129-136, 1971.