

前橋工科大学 学生会員 中島史好
前橋工科大学 正会員 土倉 泰

1. はじめに：斜面上に崩落の懸念される巨大な岩塊が存在するとき、岩塊の根固めを行ったり不安定箇所を破碎撤去したりして巨大岩塊自体をより安定な形状に改変できれば有効な防災対策（落石対策）となるはずである。しかしながら、3次元の複雑な形状の岩塊を破碎していく際、どこから破碎し始めるかといった破碎箇所の順序付けに注意しないと、逆に不安定な形状となって崩落の危険性が高まるおそれがある。これを防ぐために、施工計画の各段階で刻々と変化する岩塊の形状を容易に取り込めるようなモデルを用意した上で、そのモデルの安定性を評価し安全管理を行う必要がある。そこで、サイコロ要素で構成される岩塊モデルを作成して安定計算する手法を提案する。解析には3次元粒状要素法¹⁾を適用する。本文では、サイコロ要素の方向を変えた2通りの計算を行い、要素の設定方向の違いによって安定計算結果に生じる影響を調べた。

2. モデルの作成：現実には岩塊の部分的な破碎撤去工事のなされた斜面の測量データに基づいてモデルを作成した。図1に示すように、測量で求められた岩塊の断面図に1m×1mの正方形格子状枠を当てはめる。なお、図1の破線は亀裂面を表す。標高1mおきに描かれた23個の岩塊の断面図に対し枠を同じように当てはめ、岩塊全体の形状をサイコロの集合体で近似する。そのようなモデルを用いれば、工事での破碎箇所に位置するサイコロを取り去りながらその都度モデルの安定性を計算することができる。ただし、枠の当てはめ方（座標の取り方）は任意である。図2は図1の枠の当てはめ方すなわち要素方向を固定して岩塊の方を反時計回りに45°回転させてみたものである。本研究では図1、図2のように枠の方向を変え2通りのモデルを作成した。図3、図4がそれぞれ図1、図2から同一の岩塊をモデル化したものであり、それぞれをAモデル、Bモデルと称することとする。両図は岩塊モデルを谷側から鳥瞰したもので、このモデルの背後にあるべき斜面は描かれて

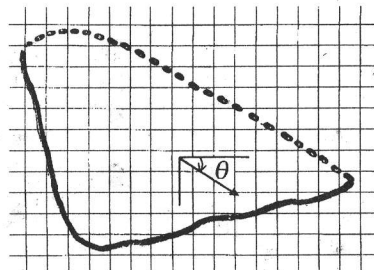


図1 岩塊の断面図

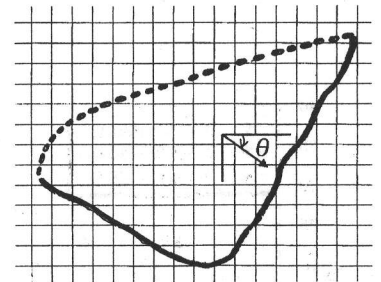


図2 岩塊を45°回転させた図

いていない。岩塊モデルと隣接する斜面側のモデルに関しても同様にサイコロを要素として作成する。その上で3次元粒状要素法により岩塊モデルの安定性を調べる。亀裂面で岩塊と斜面は接触するものとし、接触はサイコロに内接する球によって評価する。接触点の剛性等についてはHertzの理論を用い、ヤング率、ポアソン比、球と球の摩擦角を順に30GPa、0.2、24度とした。なお、岩塊モデルの底

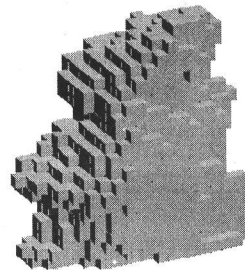


図3 Aモデル(施工前)

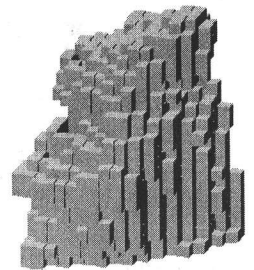
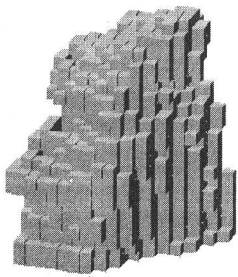


図4 Bモデル(施工前)

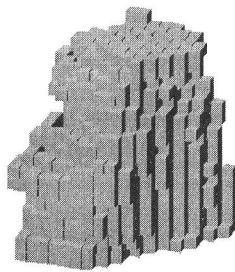
面には、23個の断面図の面積を調べて小さくなっている断面すなわちくびれている部分に相当する断面を採用した。安定計算は図5に示す形状変化ごとに行う。なお、この図はBモデルで示したものである。(a)は図4(施工前)と比べると下部が異なる。これは、くびれた部分に対するコンクリートによる根固めを終了した段階である。(b)

キーワード：岩盤斜面、落石、安定計算、粒状要素法

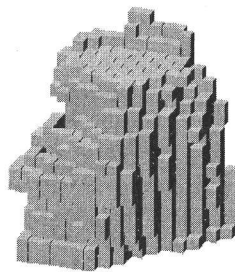
連絡先：〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町460-1 前橋工科大学工学部建設工学科 TEL (027) 265-7305



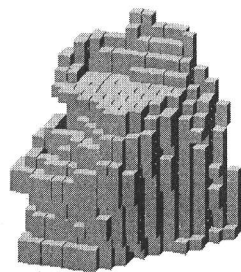
(a) 根固め終了段階



(b) 破碎1終了段階



(c) 破碎2終了段階



(d) 破碎3終了段階

図5 施工の進行に伴うモデルの形状変化 (Bモデル)

～(d)はその後の破碎の進め方に対応したものであり、上部の形状に変化がある。(b)、(c)、(d)のそれぞれを破碎1、破碎2、破碎3の終了段階と称することとする。

3. 安定性の評価：岩塊モデルの重心から地震荷重等を想定した水平力をかけて安定性を評価する。図1、図2は重心を含んだ断面で、図中の角度 θ は重心に与える水平力の向きを表す。岩塊の形状に対して想定する荷重方向が同じでも、Aモデルの θ はBモデルの θ より 45° 大きいことに注意する。安定、不安定の判別は次のように考えた。岩塊モデルと斜面モデルの間の作用力が岩の強度より大きくなった時に不安定化が生じるものとみなした。これは岩塊の崩落がトップリング的であり、不安定になると岩塊が回転するときの支点に作用する接触力が非常に大きくなると考えたからである。岩塊の密度、岩の強度を順に 26kN/m^3 、 10MPa とし、不安定化が生じた時の水平力を $H_{\max}$ として次式の係数 α で安定性の評価を行う。

$$H_{\max} = \alpha \times W \quad (1)$$

W は岩塊の重さで、 α は構造物の耐震設計で用いられる設計震度に対応する。求められた α の値が大きいほど岩塊モデルは安定とみなすことができる。なお、水平荷重方向によって α の値は変化するはずである。計算結果を図6 (Aモデル)、図7 (Bモデル)に示す。図には α が小さめとなった角度について表示した。奥行きの向きに施工の進行段階順に得られた α を示している。 α は単調に上昇しており、施工中に常に安定性は上昇することが確認できた。また、施工前には α が0.2に達していない方向もあるが、破碎3の段階で初めてすべての方向で0.2を超えた。最後に、図6と図7を比べると、 θ が小さい部分を除いてほぼ一致した値である。差が生じた部分は再検討する予定である。この岩塊の大きさは約 $1,650\text{m}^3$ であるので、サイコロの大きさはその $1/1650$ となる。

この程度の精度で岩塊をモデル化すれば要素方向によって計算結果が大きく変わることはなさそうである。

4. おわりに：本文では、サイコロ要素で岩塊をモデル化して、破碎撤去中の安全管理を念頭に置いた安定計算法を提案し、その適用例を示した。計算結果に再検討を要する部分もあるが、本文で示した程度のサイコロの大きさで岩塊をモデル化した場合、サイコロ要素の方向による影響はなさそうである。本研究に対し有益なご助言を賜りました山梨大学の村上幸利教授、実測データをご提供くださった日本道路公団の石田晃様に深謝の意を表します。

参考文献 1) 土倉泰：任意形状の要素を用いた粒状要素法とその応用，構造工学論文集，Vol. 39A，pp. 399-406，1993。

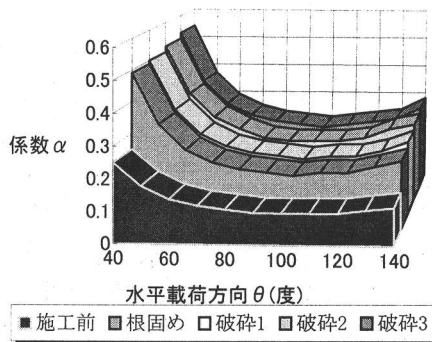


図6 施工の進行に伴う α の変化 (Aモデル)

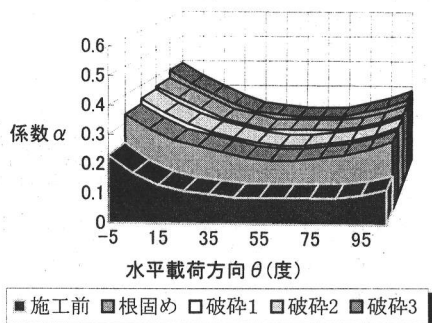


図7 施工の進行に伴う α の変化 (Bモデル)