

巨大岩塊の部分除去工事における安全・施工管理と成果評価のための安定計算

前橋工科大学 学生会員 元沢 智聡
前橋工科大学 正会員 土倉 泰

1.まえがき：斜面上に崩落の可能性のある高さ 20m を超える巨大な浮石の一部を削る、根固めをする等形状を改変すると、ある程度その安定性を高めることが可能と考えられる。そこで、そのような浮石とみなした岩塊の一部を静的破碎機による作業で取り除く工事が落石予防工として実施された。この現場を対象に、構造物の耐震設計で用いられる震度法の考え方にに基づき、粒状要素法^{1),2)}を適用した浮石モデルの三次元安定計算を行い、工事の安全、施工管理と成果評価を行う。



(a)クラックの様子(施工後)

(b)岩塊底部のえぐれた部分

図1 崩落の危険性が高いと評価された巨大岩塊

2.岩塊の状況と工事概要：図 1(a)に示すように現場の斜面には明確なクラックが入っているため、これより谷側の斜面は巨大な浮石に相当する岩塊とみなすことにした。図 1(b)に示すように浮石は底部がえぐれている。この部分はコンクリートで根固めし、浮石を削って形状を変化させ斜面の安定性向上を図ることが本工事の目的である。具体的な工事の流れを表 1 に示す。

表 1 工事の流れ

	内容	目的
1.測量	浮石の周囲を計測	形状の把握
2.根固め工事	浮石底面をコンクリートによって固定	破碎撤去工事中の安全性・浮石の安定性の向上
3.破碎撤去工事	浮石上部の一部の形状を変化させる	浮石の安定性の向上

3.モデルの作成：実際に工事のなされた岩塊の測量データに基づいて岩塊モデルを作成した。なお、計測の結果、図 1(b)に示すえぐれた部分の水平断面積が小さかったのでこのレベルの断面を浮石の底面と設定した。測量により求められた岩塊の断面図に 1 m²の正方形格子状枠を当てはめる。高さ 1 m おきに描かれた 20 段の岩塊の断面図に対し枠を同じようにあてはめ、岩塊全体の形状を正六面体の集合で近似し、浮石のモデルを作成する。この際、基準として石の表面を表す曲線と交わる正方形の中から 50%以上が石の断面に含まれるものを境として浮石部とみなす。正六面体の集合でモデル化したのは、形状の変化が容易にできるためである。浮石と

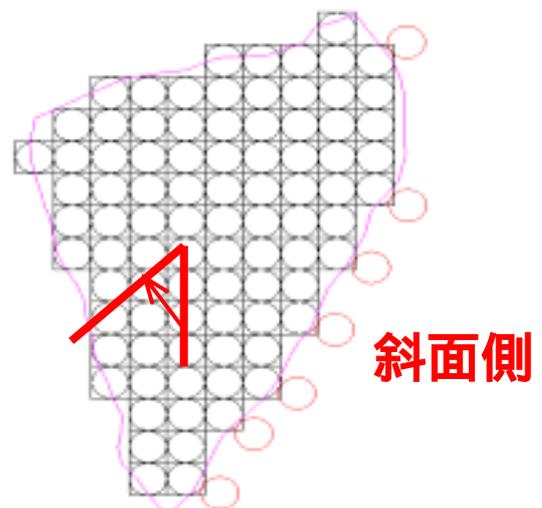


図 2 岩塊の重心を含む水平断面のモデル

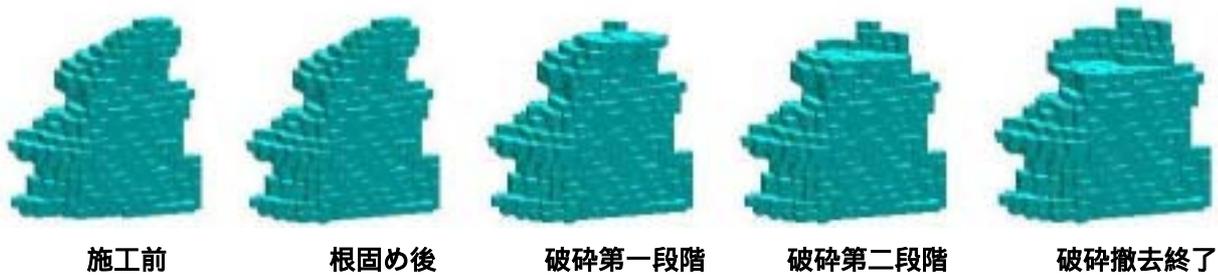


図3 施工の進行によるモデル形状の変化

斜面との接触は正六面体に内接する球で評価する。浮石モデルの水平断面内凸部分が斜面と接触したとみなし、実形状(図2の曲線)と直交する方向外側に浮石と接触する球を配置した。なお、接触剛性には Hertz の理論³⁾を用いるものとする。

4. 安定性の評価：震度法を使い、モデル化した浮石に地震荷重などを想定した静的水平力 H を与え、安定が保たれるか粒状要素法を用いて調べる。材料定数はヤング率 30GPa、ポアソン比 0.2、密度 2.6g/cm³、接触点の摩擦角 24 度とする。H を徐々に大きくして浮石が不安定な状態になると、少ない接触点に多くの力が集中して働く(図4右の丸部分)。安定性を評価するために底面との接触力が岩の強度(10kgf/cm²と想定)を超過した時、岩塊が破壊して浮石が不安定となったものとする。なお、図2で定義したθの各方向に応じて水平力を与える。安定を維持できる最大水平力値を Hmax とし、次式の係数を安定性を評価する指標に用いる。

$$H_{max} = \frac{W}{\mu}$$

は浮石が耐えうる最大の水平力を浮石の重量 W で割った値で大きいほど浮石は安定である。図5は各施工段階の状況である。どの施工段階の解析結果も水平載荷方向100度前後で係数が一番低くなっており危険である。100度前後とは斜面側とほぼ垂直方向にあたる。施工作业の各段階におけるの最小値を図6に示す。各作業毎に安全性が向上する。仮に0.2で十分安定であると評価するならば、工事終了時にこれが達成されたことになる。

5. おわりに：岩塊をモデル化し、粒状要素法を用いて浮石の安定性の評価ができた。本工事のような破碎撤去作業の場合、岩塊形状の変化によって工事の途中で岩塊がバランスを崩すおそれがある。本文で採用した正六面体の集合によるモデル化は要素の追加・削除が容易でモデルの変形が簡便である。そのため事前の安全確認に適している。本文では震度法を用いた静的な安定性評価を行ったが、今後は動的な解析の適用性についても検討したい。

参考文献：1)岸野佑次：新しいシミュレーション法を用いた粒状体の準静的挙動の解析，土木学会論文集，No.406，pp.97-106，1989。

2)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。

3)Mindlin,R.D.:Compliance of elastic bodies in contact,J.Appl.Mech.16,259-268,1949。

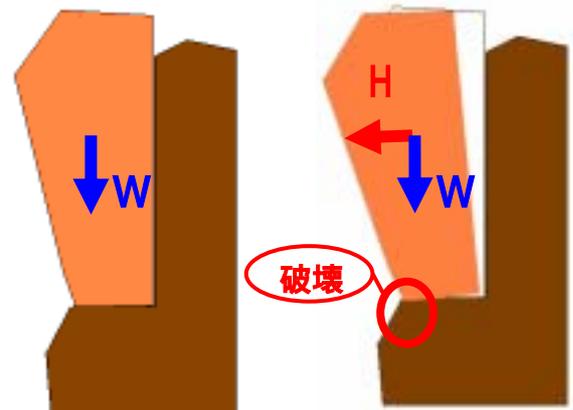


図4 震度法を用いた安定性評価

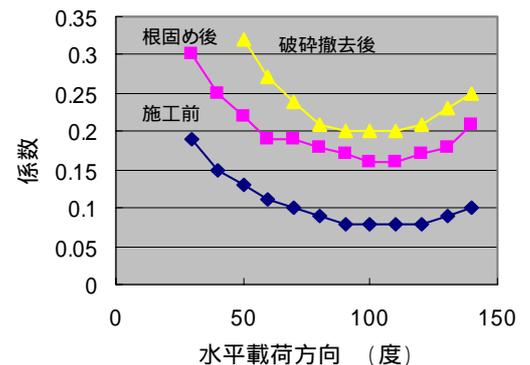


図5 係数の水平載荷方向による変化

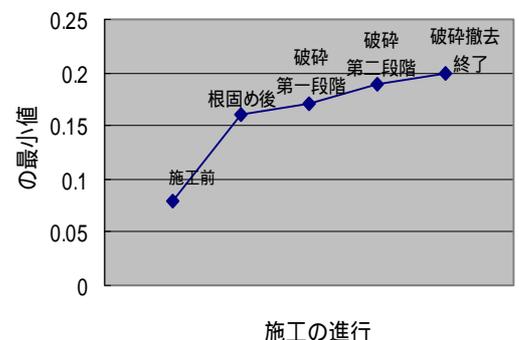


図6 各施工段階(図3)におけるの最小値