

特殊地盤条件における大谷採石地下空間の構造安定性に関する検討

宇都宮大学 学生会員 ○佐藤 晶子
 宇都宮大学 学生会員 島田 大輔
 宇都宮大学 学生会員 高葉 悠
 宇都宮大学大学院 正会員 清木 隆文

1. はじめに

大谷石は宇都宮市の中心より北西 7 km の大谷町付近に、東西に約 2 km、南北に約 4km にわたり、薄い緑色の凝灰岩として所々に露出しているが、採掘区域は東西に約 3 km、南北に約 6 km に及んでいる。大谷石の分布は東西に約 8km、南北に約 37 km にわたっており、地下 200 m~300 m の深さに及ぶ。埋蔵量は、10 億トンと推定されている。これらの地下空間はこれまでに大谷町で起きた大規模な陥没事故により大谷の採石地下空間の危険性が表面化し、掘削後の地下空間の埋め戻しが強く主張されてきたが、採石地下空間の陥没の主な原因は十分に安全な採掘方法ではなかったことによると示されたため、大谷採石地下空間を対象に安定性を評価する研究が進められている²⁾。しかし、考慮する条件は一般的なものが多く、特殊地盤条件における構造安定性については検討が十分に行われていない。

そこで、本研究では特殊地盤条件を想定することで地下空間の不安定性に特に影響を及ぼすものは何なのか、有限差分法による解析ソフト FLAC3D (Itasca 社) により検討する。

2. 埋め戻しによる採石地下空間の安定性評価

まず、特殊地盤条件として、上記に挙げたものの中で、残柱が細い場合と、地下空間に埋め戻しが施されている場合について述べる。

3.1 簡易モデルの設定

今回検討に用いた図-1 に示す簡易モデルは、55 m × 55m × 60m の解析領域を持ち、1 m × 1 m × 1 m のゾーン(要素)181,500 個で構成されている。特殊地盤条件としては、図中の緑色の部分が土被りであり、採石地下空洞は、高さ 20m であり、その高さの半分(10 m)を埋め戻す。残柱は 9 本存在しており、比較的細く、断面積 5 m × 5 m のものを x 方向, y 方向共に 10 m 間隔(残柱の中心から残柱の中心の距離は 15m となるよう)に配置した。土被り厚は 10m であり、計算時間短縮のため分布荷重で再現している。物性値は、表土部分及び埋め立ての部分は関東ロームを想定しており、その物性値を入力した。そのほかの部分については大谷石の物性値を与えた(表-1)。

表-1 解析に用いたパラメータ^{3),4)}

| | | |
|-------|---------|----------------------------|
| 関東ローム | 単位体積重量 | 1.4kN/m ³ |
| | 体積弾性係数 | 6.91×10 ² MPa |
| | せん断弾性係数 | 4.76×10 ² MPa |
| | 粘着力 | 1.5×10 ² MPa |
| | 内部摩擦角 | 40° |
| | 引張強度 | 1.6×10 ² MPa |
| 大谷石 | 単位体積重量 | 1.7kN/m ³ |
| | 体積弾性係数 | 1.38 × 10 ⁶ GPa |
| | せん断弾性係数 | 0.91 × 10 ⁶ GPa |
| | 粘着力 | 2.1 × 10 ³ GPa |
| | 内部摩擦角 | 30° |
| | 引張強度 | 1.6 × 10 ³ GPa |

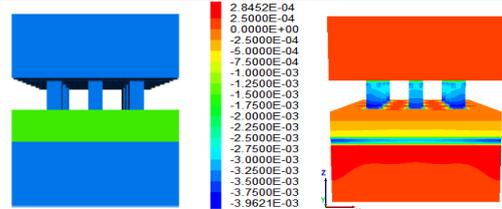
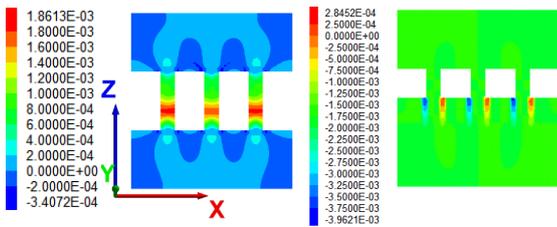


図-1 簡易モデル 図-2 鉛直方向のひずみ増加量

3.2 解析結果

掘削に伴う鉛直方向(z 方向)のひずみ増加量は図-2 のようになった。図中の変位の符号は軸座標に従い、ひずみの符号は引張ひずみを正としている。ひずみ増加量は、経験的な岩盤に関する知見⁵⁾によれば、大谷石岩体が破壊に至るひずみは 0.5%~0.9% の範囲にあると推定される。また、これまでの大谷石の一軸圧縮試験の結果より、一軸圧縮強さに達したときの軸ひずみは 0.5%~0.7% である。解析で得られた圧縮ひずみ増加量は、鉛直方向で最大で約 0.396% であり、破壊に至るひずみは発生していない。残柱を極端に細くすればさらに大きなひずみが発生すると思われる。しかしながら、実在し得る細さの残柱でこのような結果が得られたため、採石地下空間では、残柱が比較的細いという特殊地盤条件は短期的には構造的に不安定を及ぼさないと考えられる。また、図-2 は埋め戻し前後について、水平方向のひずみ増加量を、奥行き(y)方向の断面において比較したものである。埋め戻し前後で圧縮応力分布に大きな違いが見られた。埋め戻しにより残柱を拘束し、構造安定性が増していることが分かる。



(a) 埋め戻し前 (b) 埋め戻し後
図-3 y 方向断面における x 方向のひずみ

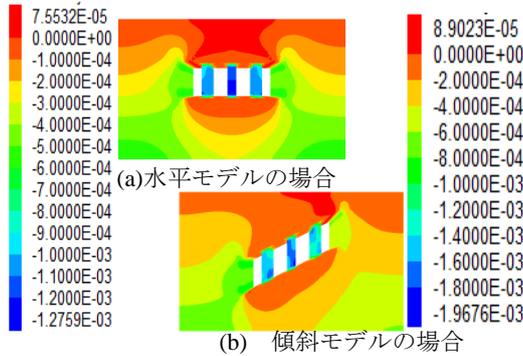


図-4 z 方向のひずみ増加量

4. 斜面による採石地下空間の安定性評価

本研究では、特殊地盤条件として、地盤が傾いている場合も検討する。

4.1 簡易モデルの設定

本研究で検討した2つのモデルは、どちらも125×55×85の解析領域を持つモデルで、計算モデルはMohr-Coulombの完全弾塑性破壊規準に従う。どちらも残柱の太さは5m、残柱間隔は10m(残柱の中心から残柱の中心の距離は15mとなるよう)に配置した。土被りは10mであり、計算時間短縮のため分布荷重で表現している。解析に必要な大谷石の物性値は表-1の値を用いた。水平方向の境界条件に左右されないよう、x方向の正負両方に残柱の端から45mの間隔をとっている。傾斜モデルに関しては、地盤自体が傾いていることを想定し、直方体のモデルの中に、約30度の傾きを持った掘削範囲が存在する。

4.2 解析結果

どちらのモデルとも、降伏して塑性化した箇所は見られなかった。また、鉛直方向のひずみはそれぞれ、図-3のようになった。破壊に至るとされている強度ピーク時の軸ひずみ⁵⁾と比較しても、水平モデル、傾斜モデルでそれぞれ約0.128%、約0.197%と比較的は小さい。

また、全体的に傾斜しているモデルの方のひずみが大きな値を示している。特に傾斜モデルにおいては、鉛直方向のひずみの分布は斜面に対して低い位置になるにつれて、圧縮ひずみが大きい値を示す。

水平方向の応力についてはそれぞれ図-4のようになった。図中の変位の符号は軸座標に従い、応力の符号は引張応力を正としている。こちらも傾斜モ

デルのほうが、全体的に応力値が大きくなっており、応力分布については、傾斜モデルは採石空間の角のダテと呼ばれる、比較的脆いと言われている部分に、応力が集中しているという特徴が見られた。比較的脆い部分であるので構造安定性を損なう可能性のある特徴だといえる。

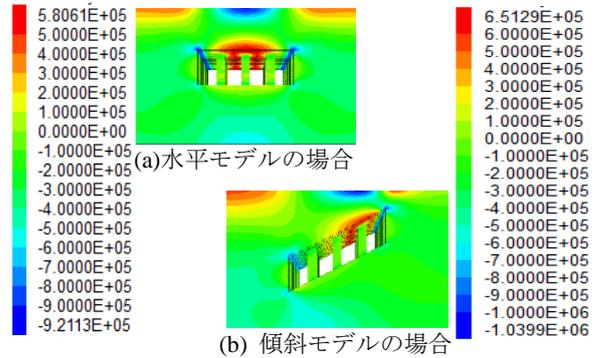


図-5 x 方向の応力分布

5. まとめおよび今後の課題

5.1 まとめ

採石地下空間のFLAC3Dを用いた3次元解析を、埋め戻しを施した場合と地盤が傾いている場合について解析したところ、どちらの場合も降伏せず、破壊に至る程度のひずみは発生しないため、短期的に見ると構造安定性に対してそれほど大きな影響を及ぼすものではないと考えられる。

特定の深さまで埋め戻されているという条件に関しては、埋め戻しにより残柱を拘束するような圧縮のひずみが発生し、構造安定性が増すことが示された。また、傾斜モデルについては、地下空間に傾斜が存在すると、斜面の高いほうから低いほうへ圧縮の応力やひずみが集中するという特徴が示された。

5.2 今後の課題

検討した特殊地盤条件の他に、特に大谷採石地下空間には通し傷と呼ばれる節理が存在する。この節理の影響を考慮して構造安定性の検討を進める。

参考文献

- 1) 大谷石資料館ホームページ <http://www.oya909.co.jp/>, (2013年8月確認)。
- 2) 江守太郎, 清木隆文: 現場調査による採石地下空間の構造安定性に関する考察, 地下シンポジウム論文・報告集, 土木学会[査読付論文], pp.79-88, 2005.
- 3) 日本港湾協会: 港湾構造物設計基準, 単位体積重量, 日本港湾協会, 1968.
- 4) 土質工学会編: 堆積軟岩の工学的性質とその応用, pp.293-295, 1987.
- 5) 日比野 敏, 技術者に必要な岩盤の知識, 鹿島出版会, pp.102-103, 2007.
- 6) 高葉 悠, 大谷石地下空間の第三者から見た構造安定性評価に関する研究, pp.75-76, 2013.