

大谷石採石地下空間の幾何学的な構造の再現と安定性に関する検討

宇都宮大学 学生会員 ○高葉 悠
JR 東日本 樋口 大樹
宇都宮大学院 正会員 清木 隆文

1. はじめに

これまで栃木県宇都宮市大谷町において、大谷石採石地下空間で大規模な陥没事故が発生したため、大谷の採石地下空間の危険性が表面化し、地下空間の埋め戻しが強く求められてきた。しかし、その後の調査や既往の研究¹⁾により、採石地下空間の陥没事故の主な原因は、安全性を軽視した採掘方法にあるということが示され、全ての採石地下空間が危険ではなく、結果として陥没する可能性が高い空間が崩落したにすぎないことがわかった。つまり、安全な採掘方法に従って採掘した採石地下空間であれば、空間の安全性が保証されれば周辺住民の生活の保障、地下空間の有効な利用法をも検討することができる。大谷町では、現在でも少ないながらも大谷石の採石を進めている箇所があり、その安全性を評価することが求められている。そこで、本研究では有限差分法の解析ソフトFLAC3D(Itasca社)を用いて、栃木県宇都宮市にある大谷石採石地下空間を対象に、地下空間の幾何学的な構造を再現し、その安定性を検討することを目的とする。

2. FLAC3Dによる3次元掘削解析

(1) 既往の研究について

既往の研究¹⁾では、採石地下空間の掘削解析を行う際、地下空間全体を大谷石として物性値を設定し、一度に全領域を掘削する計算を行っていた。一方、実際の採石掘削では小さなブロック毎に掘削を進めている。また、大谷石の層の上には関東ロームの層があり、ここを掘削する場合はコンクリートによる支保を行っている。このため、今回の掘削解析では、大谷石地盤の上に関東ローム層の地盤を設定し、ローム層を掘削する場合は掘削面にコンクリートの擁壁を再現した。また地下空間全体を段階的に掘削するようにした。

(2) 大谷石採石地下空間の掘削解析の手順

大谷石採石地下空間の構造解析は以下の手順で行う。

1. 地盤の地質構造モデルを構築する。
2. 材料の構成則を設定する。
3. 地盤の物性値を入力する。
4. 境界条件、重力加速度を設定する。
5. 初期応力を解析する。

これらの初期設定を行った後、段階的に掘削を行い、

その都度、地下空間の変位や塑性状態を確認した。本研究で行った解析は、Mohr-Coulombの破壊規準に従うとした。また、掘削解析は段階ごとに計算が収束するまで行うものとした。

(3) 掘削する地盤の設定について

今回の掘削解析では、掘削中の地盤をできるだけ正確に再現するため、地表面から深さ20mまでのこの地点の未固結地盤の代表的な層として関東ローム、それ以深の地盤には大谷石の物性値を設定した。また、関東ロームの地盤を掘削した際、掘削面に厚さ1.5mのコンクリート擁壁を設置することを再現するために、掘削した縦坑の周りの関東ロームの物性値をコンクリートの物性値に変更した。FLAC3Dで再現した採石地下空間全体図を図-1に示し、参考にした平面図を図-2、FLAC3Dで再現した採石地下空間の形状を図-3に示す。

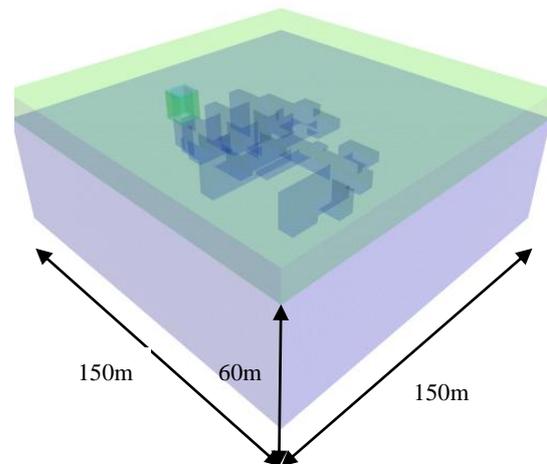


図-1 再現した採石地下空間全体図

(4) 再現した地下空間のモデルについて

本研究で再現した地下空間のモデルは、150m×150m×60mの領域を持ち、1ゾーン1.5m×1.5m×1.5mの要素400,000個で構成されている。この要素体を採石地下空間断面図にもとづき、地表面から6m×6mの掘削面で24mの深さまで立坑掘削し、そこから採石地下空間を28個のブロックに分割し、ブロック毎に掘削する解析を行った。また、解析を行う際、地下空間の壁面の内空変位や天端沈下量、塑性降伏のゾーンを確認し、採石地下空間の安全性について検討した。

表-1 材料物性値^{1),2)}

	体積弾性係数 (MPa)	せん断弾性係数 (MPa)	粘着力 (MPa)	内部摩擦角 (°)	引張強度 (MPa)	密度 (kg/m ²)
関東ローム	1.6×10 ²	17	1.5×10 ⁻²	40	1.6×10 ⁻²	1.4×10 ³
大谷石	6.7×10 ²	5.2×10 ²	2.9	29.6	1.6	1.8×10 ³
コンクリート	7.0×10 ³	6.0×10 ³	2.9	45	3.7	2.3×10 ³

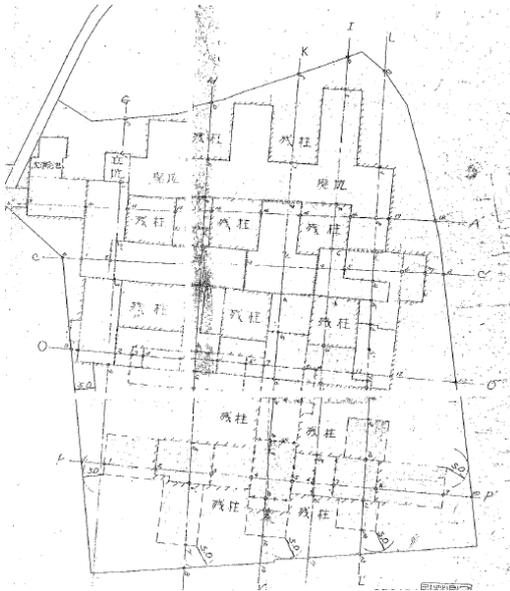


図-2 参考にした採石地下空間平面図

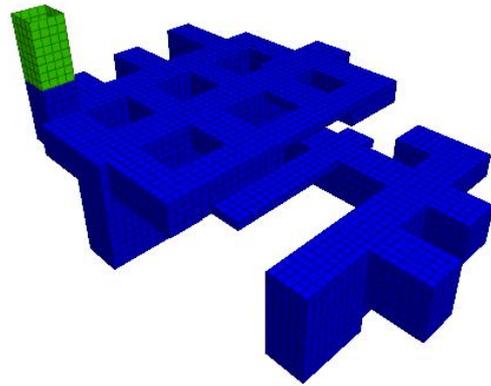


図-3 再現した地下空間の形状

(5) 解析に用いた物性値について

FLAC3D を用いて大変形弾塑性解析を行う際、必要なパラメータを関東ローム、大谷石、コンクリートを表-1のように設定した。なお、大谷石のパラメータについては既存の研究¹⁾を参考にした。関東ロームの体積弾性係数とせん断弾性係数は、関東ローム層の一般的なヤング率、ポアソン比から算出し、引張強度は大谷石の 1/100 の値とした。また、コンクリートの粘着力については、大谷石の値と等しいものとした。

3. まとめ及び今後の課題

(1) まとめ

本研究では有限要素法による 3 次元構造解析ソフトである FLAC3D を用いて、大谷石採石地下空間の断面図に基づいて採石地下空間を再現し、地下空間の変位量や岩盤の塑性状態を解析し、安全性について検討した。その結果、今回掘削解析を行った大谷石採石地下空間において、変位が大きい箇所でも天端沈下量で 27mm 程度、壁面内空変位で 1.5mm 程度となり、塑性化している箇所も地表面近くの未固結層でのみわずかに確認された。さらに、残柱方式と呼ばれる掘削方法でこの採石地下空間掘削されており、この残柱に通し傷と呼ばれる節理が存在す

る影響についても解析を行った。これらの解析結果から、この採石地下空間は解析で確認した範囲では、構造的に安定していることがわかった。

(2) 今後の課題

本研究で行った採石地下空間の掘削解析では、1 ゾーン 1.5m×1.5m×1.5m の立方体によって解析領域を構成し、解析を行った。しかしながら、実際の掘削作業では、大谷石を 30cm×40cm×90cm の大きさのブロックに切り出して行うため、さらに詳細の解析を行う場合、要素体を構成するゾーンをこのブロックと同じ大きさに設定することが望ましい。しかし、このゾーンの大きさで要素体を設定した場合、FLAC3D による数値計算に莫大な時間を要することになる。このため、地下空間全体を実際より粗いゾーン設定で解析した後、地下空間内で最も不利であると思われる箇所を抽出し、その箇所付近を詳細に設定して解析するなどの工夫が望まれる。

参考文献

1) 樋口大樹, 清木隆文, 大谷石採石地下空間における健全性評価方法の検討, 土木学会第 37 回関東支部技術研究発表会講演概要集, 2ps, CD-ROM, III-13, 2010.
 2) 村田二郎, 長瀧重義, 菊川浩治: 建設材料コンクリート 第 3 版, pp134-136, 2008