大谷石採石地下空間の採石時および地震時の安定性の検討

宇都宮大学大学院	学生会員	○高薄	ぎ 悠
JR 東日本		樋口	大樹
宇都宮大学大学院	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、地下空間の有利な利用法をも 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 掘削時および地震時の安定性評価を目的とする.

2. FLAC3D による3次元安定性解析

(1) 大谷石採石地下空間の安定性解析の手順

大谷石採石地下空間の解析は,地盤モデルを作成後, 初期応力を求めた.その後,段階的に大谷石の採石を 再現した掘削解析を行い,その都度,地下空間の変位 や降伏状態を確認した.また,初期設定を行った後, 地質構造モデルに地震波を与え,掘削解析と同様に降 伏状態を確認した.なお,本研究で行った解析は, Mohr-Coulombの破壊規準に従うとし,掘削解析は段階 ごとに計算が収束するまで行った.

(2) 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 12m までのこの地 点の未固結地盤にこの地域の代表的な地層として関東 ローム,それ以深の地盤には大谷石の物性値を設定し た(表-1).また,関東ロームの地盤を掘削した際,

キーワード 大谷石,地下空間,安定性,採石時,耐震性

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,掘削した立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¹⁾に変更した.

採石地下空間の残柱には通し傷と呼ばれる節理が存 在し、この節理が与える影響についても解析を行った.

(3) 大谷石採石地下空間の掘削時安定性解析

本研究で再現した地質構造モデルは、150m×150m×60m の領域を持ち、1 ゾーン 1.5m×1.5m×1.5m の要素(ゾー ン)400,000 個で構成されている(図-1).この地質構 造モデルを、大谷石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.解析を行う際、 天端沈下量、地盤全体の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.また、大谷 石採石地下空間内の観察可能な空間に存在する節理の 位置と向きを記録した図をもとに、残柱内の節理部分 の弾性係数を 1/100 に設定し掘削解析を行い、節理を考 慮しない場合の変位や塑性降伏状態と比較した.

(4) 掘削に伴う内空変位の実測値と解析値の比較

大谷石採石地下空間内には,掘削に伴う内空変位を 実測した箇所がある.この箇所を FLAC3D で詳細にモ デル化し,段階的な掘削に伴う内空変位を計算した. この解析値と実測値を比較し,どの程度正確に数値解 析が実際の変形を表しているか検討した.



連絡先 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学大学院工学研究科 岩盤工学研究室 TEL 028-689-6218

	体積弾性係数	せん断弾性係数	粘着力	内部摩擦角	引張強度	密度
	K (MPa)	G (MPa)	c (MPa)	ø (°)	σ_t (MPa)	$\rho_t (\text{kg/m}^2)$
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 1)	7.0×10^{3}	6.0×10^{3}	2.9	45	3.7	2.3×10^{3}

表-1 物性值一覧

(5) 大谷石採石地下空間の地震時安定性解析

安定性解析を行った地下空間を対象に地震波を与え, 地震時の安定性について検討した.レベル 2 地震動を 想定し,過去に発生した大地震の加速度のデータを地 質構造モデルの底面に 3 成分同時に与え,採石地下空 間内の塑性降伏状態を確認することで,採石地下空間 の地震時の安定性について検討した.

3. まとめと今後の課題

(1) まとめ

本研究では、大谷石採石地下空間の安定性に関する 以下の項目について検討した.

i) 大谷石採石地下空間の掘削時安定性

石地下空間を28個のブロックに分割し、ブロック毎 に掘削解析を行った.その結果、変位の最大値が天端 沈下量で約27mm(ひずみ0.15%)、壁面内空変位で約 1.5mm(ひずみ0.02%)となり、降伏している箇所は地 表面近くの未固結層のみで僅かに確認されただけで、 対象とした大谷石採石地下空間は構造的に安定してい る.

ii)地下空間残柱内の節理が解析結果に与える影響

節理を考慮する場合と考慮しない場合の解析結果を 比較した結果,変位の差が最大でも節理が通っている 残柱付近で2.28mmとなり,節理が解析結果に与える影 響は小さい.

iii)掘削に伴う内空変位の実測値と解析値の比較

本研究で対象とした大谷石採石地下空間の掘削に伴 う変位の実測値と,掘削を再現した変位の解析値を比 較した. その結果,掘削が進行している箇所から比較 的離れた測線における変位は,解析値が実測値よりも 小さい値となったが,掘削が進行している箇所付近で は,解析値が実測値に近いオーダーを示したため,数 値解析はある程度正確に採石地下空間の変形を表して いる.

iv) 大谷石採石地下空間の地震時安定性

レベル 2 地震動を想定した地震加速度を作用させた結 果,壁面と天端および床面の隅角部において,引張応 カによって岩盤が降伏している箇所が多く見られた. また,降伏範囲(図-2 中緑色部分)は表面的であるため,地震動によって壁面や天端が部分的に欠落する危険性はあるものの,対象とした大谷石採石地下空間自体が崩壊に至る可能性は低い.



図-2 地震動入力後の地下空間の塑性域

(2) 今後の課題

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、本研究より も詳細の解析を行う場合、地質構造モデルを構成する 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地質構造モ デルを設定した場合、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、その個所 付近を詳細に設定して解析するなどの工夫が望まれる.

観測された地震データを入力波として行った動的解 析において、本研究で対象とした大谷石採石地下空間 の減衰定数、固有周期についても、常時微動などを測 定し、スペクトル解析などから推定する必要がある. また、推定したこれらの地盤定数を考慮し、採石地下 空間が最も不利な振動をする地震データを与えた場合 の安定性について今後検討する.

謝辞:本研究の一部は,(社)関東建設弘済会の公益 研究助成を受けて実施した.記して感謝する.

参考文献

村田二郎,長瀧重義,菊川浩冶:建設材料コンクリート,共立出版,pp.119-137,2008