

## 大谷採石地下空間の地震時安全性と安心感による総合評価の試み

さいたま市 加藤 俊紀  
早稲田大学 学生会員 程 传涛  
宇都宮大学 正会員 ○清木 隆文

## 1. はじめに

栃木県宇都宮市の大谷町では大谷石を石材として切り出す際に生まれた大谷採石地下空間に関する構造安定性や有効利用に関する研究が進められて居る<sup>1)</sup>。本研究では、構造的な安全性と感性的な安心感を評価することを目的として、動的解析及びアンケート調査を行い、その評価手法を検討した。大谷採石地下空間では、キズと言われる節理などがある場所など安全性に不安があると考えられる箇所には、鉄骨や鉄筋などによる簡易な補強(以下、支保工)が施されており、安全性の向上が期待されている。対象とした地下空間では、地震時に入口が崩壊した場合、地上に避難する手段を失う事になる。そのために、本研究では、大谷採石地下空間と支保工が設置されている箇所の1つであるその入口部に着目し、地下空間の安全性と支保工の有効性をFLAC3D (Itasca 社)による数値解析によって検討する。また、地下空間内における安心感について、アンケート調査を基に評価し、大谷採石地下空間の安全性と安心感からなる総合評価の確立を目指す。

## 2. 大谷採石地下空間を対象とした動的解析について

## 2.1 漸増動的解析手法について

構造物の想定する地震動を超える地震動に対して損傷の大きさを単なる動的解析からは予見することは困難なため、複数の地震動を用いて構造物の耐震性を評価するIDA(漸増動的解析)手法<sup>2)</sup>を用いる。この手法は、入力地震波の特性をそのままに強度を漸増させ、非線形時刻歴地震応答解析を行うものである。そしてその地震強度と応答の関係よりIDA曲線を作成し、構造物の耐震性能を評価する。

## 2.2 大谷採石地下空間入口部の解析結果

大谷採石地下空間の入口部の耐震性能と設置された支保工の有効性を検証するために、2019年に大谷採石地下空間の立坑に設置した地震計で観測した地震波(表-1)を用いて、入口部に支保工を設定したモデルと

表-1 本研究で採用した地震波

	震源	マグニチュード (J)	観測日
CASE1	茨城県南部	3.3	7月13日
CASE2	茨城県南部	2.6	7月15日
CASE3	埼玉県北部	3.2	7月16日

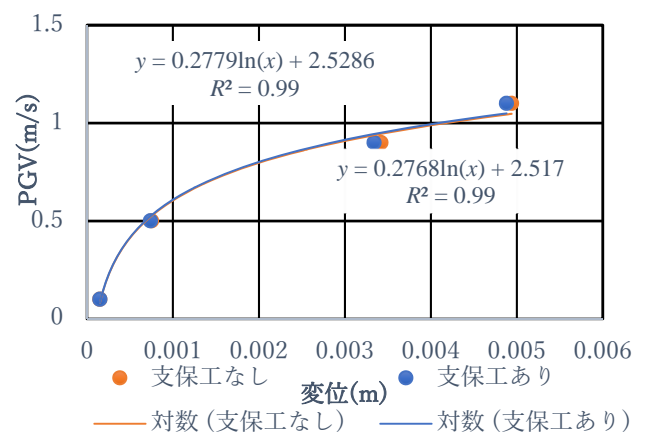


図-1 地震動CASE2のIDA曲線

設定しないモデルの結果を比較した。地震強度を表面最大加速度(Peak Ground Acceleration, 以下PGA)とし、陥没する可能性を検討するために、入口部上部の鉛直方向変位に着目して、解析を行った。結果として、支保工を設置したモデルにおける鉛直方向の変位が、支保工を設置していないモデルと比べて小さくなった。しかしながら、その変位の差はCASE2地震動の場合で $5.950 \times 10^{-5} \text{m}$ と僅かであるので、IDA曲線では、強震動であっても有意な有効性見られなかった(図-1)。大谷採石地下空間の入口部における支保工は、耐震性能向上のための有効性は十分ではないと考えられる。今後地震時にも経済的で有効な支保工の検討が求められる。

## 3. 大谷採石地下空間の安全性と安心感の総合評価

大谷採石地下空間内の7か所(図-2)による安全性評価と安心感評価の2つの指標によって総合的に評価した。なお、これらの7か所は、安心感の妥当性を確認するため、距離や形状が類似している空間だけにならない様に選定した。本研究において安全性評価は、局所的

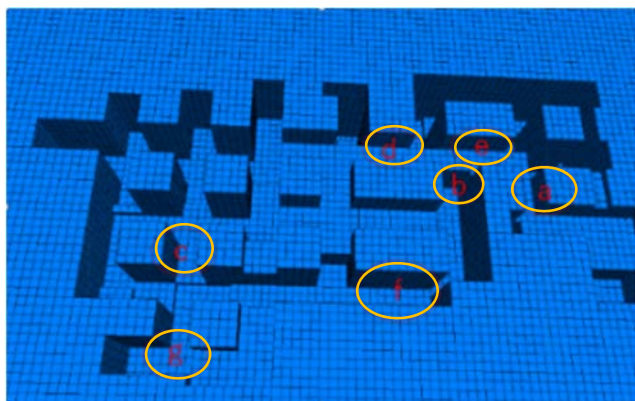


図-2 大谷採石地下空間内の価地点7か所



図-3 アンケートで用いた地下空間の写真(トンネル)

な安全性を判定するために、最大せん断ひずみの許容値として、限界せん断ひずみ $\gamma_0^3$ を採用した。そして、着目箇所の壁面における最大せん断ひずみ $\gamma_{max}$ を $\gamma_0$ で除した値を危険指数  $m$  として評価を行った。限界せん断ひずみ $\gamma_0$ は、 $4.445 \times 10^{-3}$ と算出された。今回扱った地震動で最大せん断ひずみが  $3.156 \times 10^{-3}$ であったことから、現場の地震後の安定性と同様に限界せん断ひずみを超える最大ひずみが現れる壁面はなかった。地下空間における安心感を確認するために3種類の地下空間(地下トンネル(図-3)、地下駐車場、地下道)について、その空間の写真あり/なし2つの選択肢を設定し、地下空間に対する印象を確認した。なお、宇都宮大学の学部1年生を中心とした49名に回答への協力をお願いし、一般の人からの意見と見なした。本研究では、アンケート写真として、大谷採石地下空間が最も適当であるが、回答者に認識されている可能性が高いこれらの地下空間を用いた。アンケート結果から、写真あり/なしの違いで、回答に有意差がないことから安心感の評価は、このアンケート結果をもとに作成した5項目(幅、高さ、入口からの距離、節理、明るさ)の評価の視点を整理した。これを3段階の基準により評価し、合計点から、安心感の程度が高い方から低い方へとA、B、Cと区分した。総合評価の手順は、安全性と安心感の評価から、安全性を優位にした評価の組み合わせを検討して基準を作成した。本研究で対象とした大谷採石地下空間の7か

表-2 大谷採石地下空間の総合評価基準

場所	a	b	c
安心感	B	C	B
安全性	A	A	B
総合評価	A	B	B

場所	d	e	f	g
安心感	B	B	B	B
安全性	A	A	B	A
総合評価	A	A	B	A

所(図-2)について5名で試行した結果を表-2に示す。

## 4. まとめ及び今後の課題

### 4.1 まとめ

#### (1) 大谷採石地下空間における動的解析について

本研究では、大谷採石地下空間の入口に注目し、3種類(表-1)の地震動によって漸増動的解析(IDA)手法に基づいた動的解析を行い、IDA曲線を描いた。その結果をもとにして支保工の有効性を検討した。また、選定した7か所を対象に限界ひずみの考え方を用いて安全性評価を行った。

#### (2) 大谷採石地下空間における総合評価について

本研究では、安心感を定義して、一般的な地下空間を対象としたアンケート調査に基づいて評価指標を検討した。その結果をもとに動的解析に基づいた安定性評価と組み合わせ、総合評価手法を提案し、本研究で対象とした大谷採石地下空間を対象に試行を行った。

### 4.2 今後の課題

本研究における安心感評価では、大谷採石地下空間だけでなく、他の既存地下空間への適用性を高めるために評価基準の再度検討と改善が期待される。また、本研究で作成した評価基準を第三者に実際に使用してもらうことで、その汎用性を高める改善をすることが期待される。また、大谷採石地下空間では強震動での安全性を高めることのできる支保工が必要になると考えられ、コスト面も含めた検討を行うことが求められる。

### 参考文献

- 1) 例えば、清木隆文 土屋友梨珠 程 伝涛:大谷採石地下空間の地震応答と避難意識の関連性について、地下空間シンポジウム論文・報告集、第26巻、土木学会、pp.149-154、2021.1.
- 2) Vamvatsikos, D. and Cornell, C. A.: Incremental Dynamic Analysis, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 31, No. 3, pp. 491-514, 2002.
- 3) 櫻井春輔, 川嶋幾夫, 大谷達彦, 松村真一郎:トンネルの安定性評価のための限界せん断ひずみ, 土木学会論文集 No.493/III-27, pp.185-188, 1994.