

利用者意識に基づいた大谷採石地下空間の 構造安定性に関する検討

CONSIDERATION TO STRUCTURAL STABILITY FOR OYA UNDERGROUND QUARREY WITH USER AWARENESS

岩城 笙¹・清木 隆文²・佐藤 大地³

Syoh IWAKI¹, Takafumi SEIKI², Daich SATOH³

Oya tuff which is one of the most popular building stone material in Japan has been excavated from Oya underground quarry, Oya area, Utsunomiya City, Tochigi Prefecture, Japan. After producing those stone materials, many underground quarries which have few supporting system have appeared. The authors focus on the structural stability from the view point of those users. This study carried out questionnaire sheets to get the sense of those users and entrepreneur. And we also check the value of one of underground quarry spreading and analyzing the value of those undergrounds by travel cost method and compared the result with past subsequent results. Based on the awareness of the users, we extracted the factor which may effect to the structural stability of Oya undergrounds quarry to check the factors for safety stability. And we have also numerically checked those effect.

Key Words : Oya tuff, user awareness, underground space quarry, safety assessment

1. はじめに

近年, 大深度地下を始め, 多くの地下空間の利用が注目されている。この理由としては, 都市部の土地不足や, CO₂削減など環境負荷の低減が求められているためである。一般的に地下空間は, 恒温性や恒湿性, 遮音性, 耐震性など地上部にはない特性を有している空間が多い。栃木県宇都宮市大谷地域には, 大谷石採石に伴って形成された地下空間跡地が多数存在されている。このほとんどが, 現在放置され荒廃している。再利用されているのは観光用に公開されている大谷資料館など, 一部である。このような既存の地下空間を貴重な空間資源として捉えて, その特性を活かした様々な利用が求められる。

既存の地下空間である大谷採石地下空間跡地を有効に利用するためには, 安全性の保証が不可欠である。この地下空間は, 過去に利用されてきた例はあるが, 安全性に対する不安から, 利用が中止になる場合もあった。そこで, 本研究では, 大谷地域に関わる事業者を対象に, 大谷採石地下空間(以下, 地下空間)内部における安全性に不安を感じる要素を知るために, コンジョイント分析

を用いたアンケート調査を行った。その結果から, 事業者や事業を行うと想定した方が地下空間に不安要素を感じる程度を把握する調査を行う。また, 大谷資料館に訪れる観光客を対象に, トラベルコスト法を用いたアンケート調査を行い, レクリエーション価値を計測する。

2. 大谷砕石地下空間に安全性に関するコンジョイント分析

(1) コンジョイント分析の概要

コンジョイント分析とは主に企業などがマーケティング調査などを行う際に用いられる手法であり, 最適な商品やサービスを多変量解析により決定させる評価手法である。この解析手法の特徴は, 評価項目の組み合わせによる全体の評価のみならず, 被験者が数多くある評価項目の中から各項目をどの程度評価していることも明らかにできることである。本研究では, 大谷採石地下空間跡という特異な環境の, 事業者から見た安全性に関わる不安要素についてコンジョイント分析を用いて評価を行

キーワード : 大谷石, 利用者意識, 採石地下空間, 安全性確認

¹ 岩手銀行 The bank of Iwate Ltd.

² 正会員 宇都宮大学 大学院工学研究科 Graduate school of Engineering, Utsunomiya University
(E-mail: tseiki@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

³ 宇都宮市 Utsunomiya Municipal office

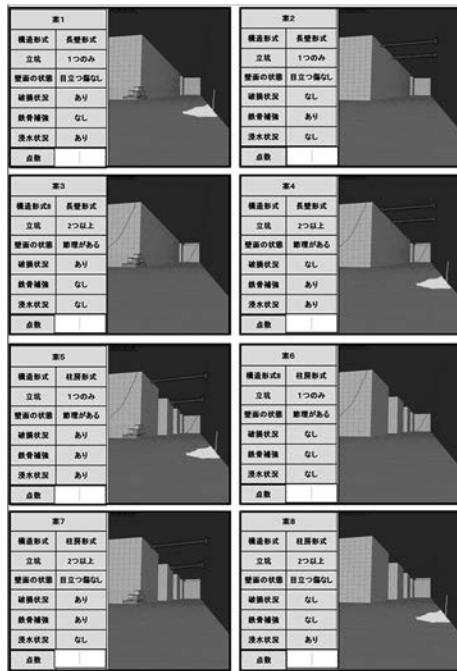
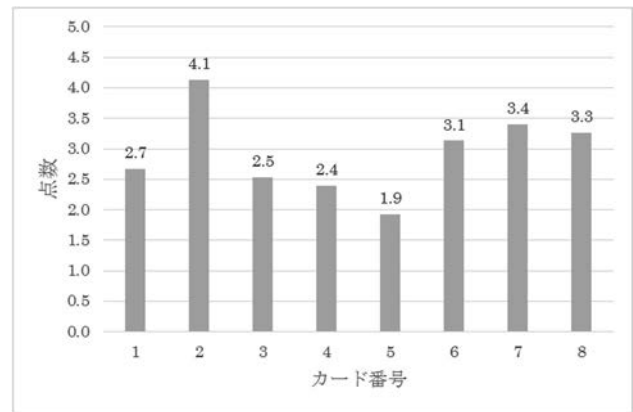


図-1 採石地下空間のコンジョイントカード

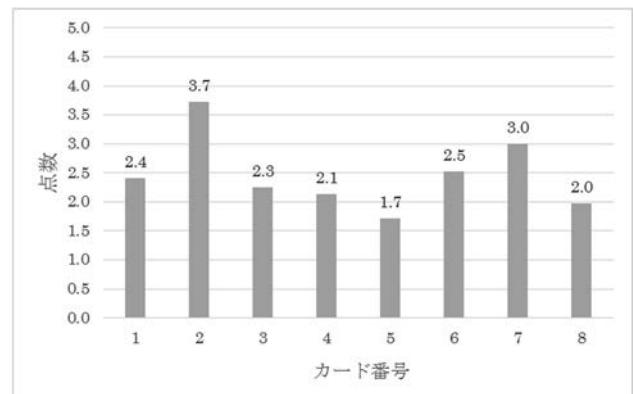
った。

(2) 本研究におけるコンジョイント分析の内容

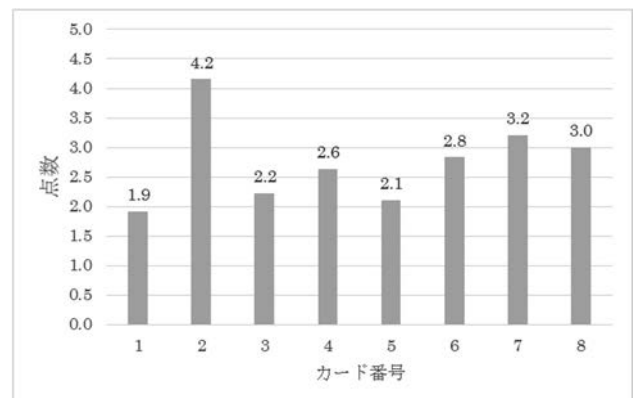
本研究では、大谷採石地下空間跡において、地下空間を利用して何らかの事業を行おうとした場合に、事業者が地下空間内のどのような属性に安全性に対する不安を持つかを検討するために、構造的あるいは心理的に安全性に関わると思われる属性を考えた。既往の研究を参考にし、昨年の斎藤が作成したコンジョイント・カード、アンケート調査表を用い、2015年の結果との比較、また対象者を変更した場合に得られる、統計的な結果を得ようとした。研究室ゼミでプレテストを行い、アンケートにかかる時間を測定することや、回答者が視覚的、直感的にわかりやすいコンジョイント・カードや説明の仕方を修正・改善していくことで、回答者の負担を軽減することや、意図的な誘導が発生しないよう配慮した。このプレテストにより2つの水準を持つ6つの属性を決定し、 L_8 (2⁷) 直交表を用いて8つのコンジョイント・カードを作成した(図-1)。アンケートはパワーポイントで概要を説明し、回答してもらうことを想定し、実際の大谷採石地下空間跡に入ったことのない人でも各属性がどのようなものか想像できるように配慮した。コンジョイント・カードの評価方法は順位付け等にしてしまうと回答者の負担になるため、1～5点の5段階評価とした。この点数の意味は、低い点数が安全性に対する不安を抱くもの、高い点数が不安を抱かないものとする。また今回のアンケートは昨年実施されたものよりも母数を増やすため、またあらゆる分野の方の回答を得るため、実際に大谷採石地下空間に詳しい事業者以外の方を対象としてア



(a) 大谷地域に関わりのある事業者



(b) 土木に精通している被験者



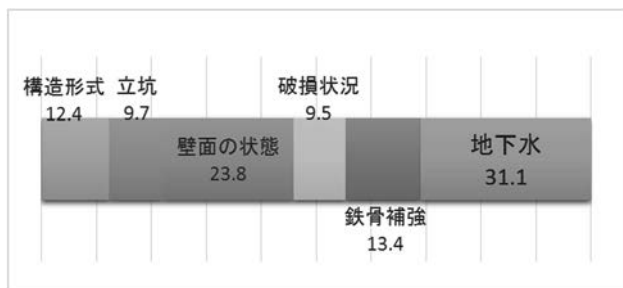
(c) 土木に関する知識の少ない被験者

図-2 回答得点の平均値

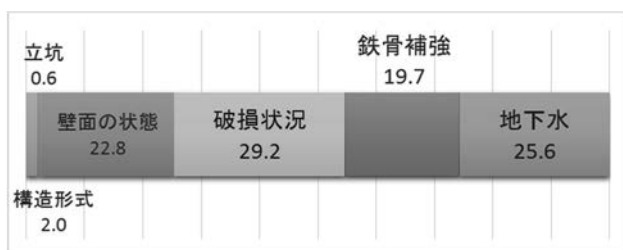
ンケートを実施する際に、「もしもあなたが事業を起こすとしたら」という想定でアンケートに答えてもらった。決定した属性の項目は、採掘形式の違いによる「構造形式」、出入り口である「立坑の数」、節理等の傷があるかの「壁面の状態」、柱や天井に剥落などの欠損箇所があるかの「破損状況」、H型鋼による補強部材があるかの「鉄骨補強」、地下水が漏れ出しているかの「地下水」の6つとした。それらの要素を表現した地下空間内のモデルを示した8枚のコンジョイントカードを図-1に示す。



(a) 大谷地域に関わりのある事業者



(b) 土木に精通している被験者



(c) 土木に関する知識の少ない被験者

図-3 各属性の区間不安要素に対する重要度

(3) コンジョイント分析の集計結果

回答人数は、大谷に関わりのある方々が 15 人、関わりのない土木関係者が約 60 人、宇都宮大学の学部 1 年生が約 130 人であった。回答者の年齢の幅は広く、20 代から 60 代までの方がいる。地下空間に入った経験の有無は、未記入を除くと、全員が入ったことがあると回答されている。業種は、大谷に関して知識のある大学職員や宇都宮市役所の職員の方々、学生などがいるため、アンケートに多様な分野の方が協力して下さったと考える。今回実施したアンケートは回答後、各コンジョイントカードの結果と、各属性の不安要素に対する重要度を算出した。回帰分析コンジョイントカードの各解答得点を図-2 に、各属性の地下空間内の不安要素に対する重要度を図-3 に示す。今回の結果から、各属性の回答者が「事業を起こすことを想定した場合」に、安全・安心と思う仮想モデルがわかった。最も評価の高かった仮想モデルは、3 つの属性が揃って、案 2 のモデルとなった。このモデルは回答者が不安に思う、重要度の高い要素である「壁面の節理」「地下水」「破損箇所」などの要素が含まれていないモデルであったため、最も評価が高くなったと言える。また、最も評価の低かった仮想モデル

は、大谷に関わりのある被験者と土木工学に精通している被験者が案 5、土木工学に関する知識の少ない被験者が案 1 となった。案 5 は、評価の高かった案 2 とは対照的に、重要度の高い「壁面の節理」「地下水」「破損箇所」が含まれているため、評価が低くなったと考えられる。この結果から、大谷採石地下空間跡において事業者の視点から見た、安全性に対する不安を感じる要素は、図-3(a) から、「壁面の状態」「地下水」「破損状況」の順に空間不安要素に対する属性の重要度が高くなっている。また、他の「構造形式」「立坑の数」「鉄骨補強」はあまり関心がない結果であり、これらは事業者にとって重要性が低いと推察される。重要度が高かった要素は、今後大谷採石地下空間跡で何らかの事業を起こす際に、注意を払うべき点であり、節理や、地下水の染み出しなどに対して、適切な対策を行うことが求められる点である。また設備などのハード以外への観点から、これらの要素に関しての対策による安全性向上への効果が大きいと考えられる。この結果はあくまで事業者の視点から見た心理的な不安要素なので、重要度が低かった要素についても、地下空間内の空気の流れや、鉄骨や支保工による補強など、工学的観点からの検討も必要である。また、大谷地域の事業者だけでなく、土木工学に精通した被験者や、土木工学に関する知識の少ない被験者にも、アンケートに回答していただくことで、地下空間に入った経験がある場合とない場合の、被験者の関心の違いを比較することができた。

3. トラベルコスト法による大谷地域の環境価値の評価

(1) トラベルコスト法の概要と特徴

環境のもつ役割は極めて多種多様であり、私的財に近いものから純公共財に近いものまで、そして直接的に利用されるものから、存在するだけで価値を持つものまである。このように単純な経済原理に基づいて価格に置き換えることが困難な場合や、評価する対象によって価値の性質に違いが生じてしまうような環境の価値を評価するための手法はこれまでにいくつか開発されてきた。

環境価値を評価する手法として大別すると顕示選好法と表明選好法の 2 種類がある。顕示選好法とは人々の経済行動から得られるデータをもとに間接的に環境の価値を評価する手法である。この顕示選好法には今回用いたトラベルコスト法(TCM)の他に代替法、ヘドニック法などがある。一方、表明選好法とは人々に環境の価値を直接たずねることで環境の価値を評価する手法である。表明選好法として、仮想評価法(CVM)がよく知られている。

表-1 2016 年度のトラベルコスト法によるアンケート調査の実施内容

調査日	2016/11/18 午前9時～午後3時
場所	大谷資料館
アンケート対象者	大谷資料館を訪れた観光客
調査方法	資料館見学後、記入してもらい回収
回収枚数	配布枚数138枚 回答枚数138枚
有効回答数	126枚

調査日	2016/12/23 午前10時～午後2時
場所	大谷資料館
アンケート対象者	大谷資料館を訪れた観光客
調査方法	資料館見学後、記入してもらい回収
回収枚数	配布枚数150枚 回答枚数150枚
有効回答数	123枚

(2) トラベルコスト法のアンケートについて

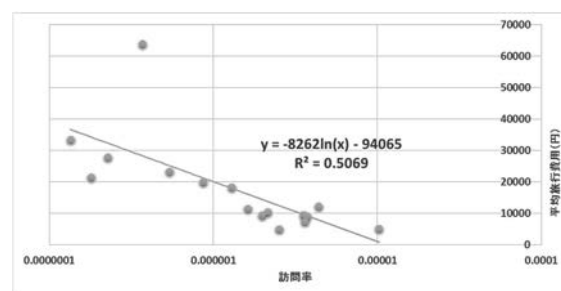
本研究におけるアンケート調査は、昨年といくつかの質問を変更または追加したものの、ほぼ同様のアンケート票を配布した。アンケートを実施した期日は、一回目は2016年11月16日(水)の午前9時から午後3時までの間で、二回目が2016年12月23日(金)の午前10時から午後2時までの間であった。本研究は、平日と祝日を比較するために、一回は平日に実施した。また、2015年のアンケート結果と比べるために、前年度と同様に、祝日に実施した。

(3) トラベルコスト法を用いたアンケートの実施

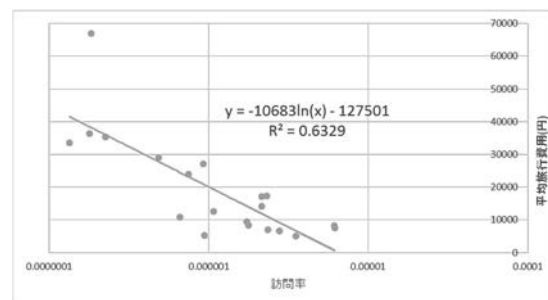
大谷資料館のトラベルコスト法を適用するためのアンケート調査の実施概要を表-1に示す。実施方法としては、一度目、二度目ともに大谷資料館を見学した観光客が、見学を終えて帰る際に観光客に声をかけ、アンケートに記入してもらい、回収した。総配布枚数は一度目のアンケートが138枚、二度目のアンケートが150枚となった。また、有効回答数(表-1)はトラベルコスト法の計算に伴い、「お住まい」と「移動手段」のどちらかが未記入、栃木県内在住の方、移動手段が自転車等の旅行費用の計算が難しいものなどを除いた票数としている。アンケートを行なった際の所感としては、ほとんどの観光客の方が好意的にアンケートに回答していただき、回答拒否バイアスの影響は回避できたと考える。また、出口付近に回答ブースを設けて、そこで配布、記入、回収の作業が行なわれたので、未記入数の減少など回答の信頼性も向上したと考えられる。

(4) トラベルコスト法による大谷地域の価値評価の計算

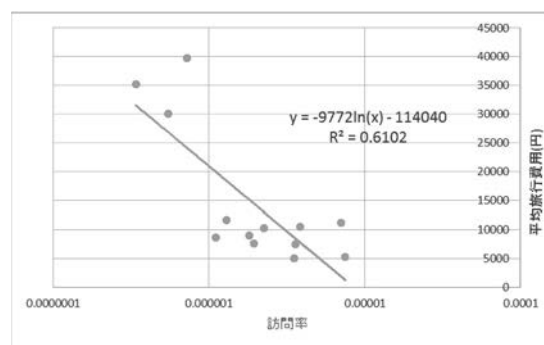
本研究では、トラベルコストを、各都道府県別で算出することとした。また、栃木県内在住に関しては、昨年同様計算から除外し、栃木県外からの来訪者に対して、



(a) 2015 年度



(b) 2016 年度 11/16



(c) 2016 年度 12/23

図-4 平均往復旅行費用と訪問率の関係

大谷地域のレクリエーション価値の推定を行う。なお、昨年のアンケート集計結果も、本研究と同様の計算を行い、大谷地域のレクリエーション価値の変化も考察する。

アンケート集計後に、各都道府県ごとの旅行費用の合計を訪問客数で除したものを平均往復旅行費用、都道府県ごとの訪問客数を、その都道府県の人口で除したものを訪問率とした。これらをグラフにまとめたものを図-4に示す。この図には、対数近似曲線の数式とその決定係数も示している。この対数近似の関数を、大谷資料館におけるレクリエーション需要関数とする。図-4の各需要関数より、レクリエーション価値 $MS(\text{円})$ は、 $MS = 8,262 \text{ 円}$ (2015 年 12 月), $MS = 10,683 \text{ 円}$ (2016 年 11 月), $MS = 9,772 \text{ 円}$ (2016 年 12 月)となる。今回のトラベルコスト法を用いた、大谷資料館のレクリエーション価値を推定した結果、2015 年が 8,262 円であったのに対し、2016 年は 11 月が 10,683 円、12 月が 9,772 円となった。実施した二度のアンケート調査ともに、昨年(2015 年)よりも大きく、価値が上がる結果となり、大谷のレクリエーション価値が大きく上昇していることがわかる。これは関東近辺の

都道府県だけでなく、遠方からの訪問客数が訪問客全体の数に対して増えたからだと考える。関東地方以外からの訪問客が、2015 年は全体の 6 人に 1 人であった一方で、2016 年は 3~4 人に 1 人が関東地方以外からの訪問客であった。本来であれば、この需要関数から得られたレクリエーション価値と、年間の総利用者数から、大谷資料館の総便益を算出し、年間の総便益として年単位、月単位の比較検討を行うべきである。しかし、2015 年も 2014 年²⁾と同様に平日よりも休日の観光客の増加が見込まれる、12 月末の土曜日にアンケート調査を行っているの、特異な総便益となると考えられる。

4. 節理が存在する地下空間の数値解析

(1) 解析対象および解析条件

本研究の数値解析では、有限差分法を用いた 3 次元解析ソフト(FLAC3D, Itasca 社)を用いて実施した。検討対象とした大谷採石地下空間は、実際に大谷地域に実在し、長壁形式で、2016 年 1 月現在でも採掘が行われている地下空間の測量データ(図-5)をもとに、将来採掘予定である採掘申請箇所にあたるすべての部分も含めた地下空間を単純化したモデルである。なお、図-5 において黄色に着色された部分が、採掘申請箇所にあたる。また、数値解析のために再現した地下空間のモデルを図-6 に示す。この地下空間モデルは 160 m × 140 m × 80 m の解析領域となっている。実際はより大きなモデルを作成し、現実の地下空間を想定した解析モデルを作成することが望ましいが、今回の解析は節理が空間に及ぼす影響を調べるものであるため、計算の速度などを考慮し、実在する大谷採石地下空間よりも簡易的なモデルを作成した。

(2) 解析結果

図-7~図-9 から、節理がある場合とない場合を比較する。まずは節理がない場合と節理がある場合を比較する。変位量を見ると、節理が存在する場合の断面では、鉛直方向で 1 cm 変位していることになる。これより、節理が存在することによって、岩盤が不連続性を帯び、安定的ではない部分の変位が大きくなっている。続いて、支保工を取り付けた場合を考える。今回の研究では、大谷地域に関する事業者、土木工学に精通している被験者、土木工学に関する知識の少ない被験者らを対象に、地下空間内の構造的安定性に関する、コンジョイント法を用いたアンケート実施した。その結果大谷地域の事業に関わる事業者らは、節理や、地下水、破損状況に対する関心が高かったが、他の要素に関してはそこまで関心がなかった。一方で、土木工学に関する知識の少ない被験者らは、鉄骨補強つまり支保工に対して不安を抱いている

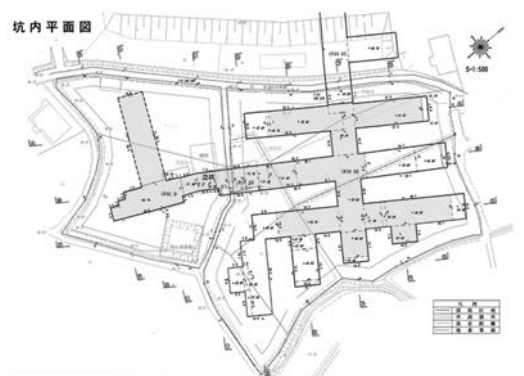


図-5 参考とした地下空間の坑内平面図

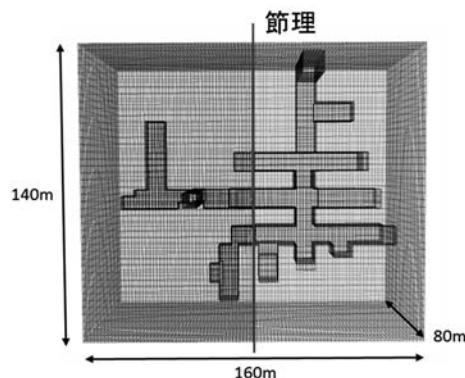


図-6 採石地下空間の 3 次元地下空間モデル

のではないかと推測ができた。そこで、今後大谷地域の地下空間で事業を起こした際、実際に訪れる方々の大半を占める可能性のある、土木工学に関する知識の少ない被験者の地下空間内の支保工に対する不安を解消するために、有効な支保工を施工した場合の解析も行う必要がある。

本研究では、節理がある場合と、節理がありかつ、支保工が設置されている場合を考える。当初、通路の天井部の壁面と壁面を突っ張り棒のような形で、支保工を設置することが安定性に繋がると考えたが、節理の入った部分が、通路と垂直に交わっているため、そのような方法は難しいと考えた。今回は、節理の空間の、天井部に設置する方法を考える。支保工の規格は、現場を参考に、長さ 4 m、断面積が $1.6 \times 10^3 \text{ m}^2$ の鉄骨が、節理の入った各天井部に 3 本ずつ設置されているものとした。これは、実際に事業者の方々が、節理の入った天井部分に設置している鉄骨補強の、節理に対する支保効果を確認するため実施した。それぞれの解析結果の変位のコンター図(図-8~図-9)を比較すると、ほぼ同様の挙動を示している。変位量に着目すると、鉛直方向には僅か約 $2 \times 10^{-6} \text{ m}$ の差しか見られない。これより、支保工を設置したことによる、構造安定性への影響は小さいと考えられる。

よって、コンジョイント法を用いたアンケートの結果において、大谷地域に関する事業者が不安要素に挙げた、節理は、岩盤領域の変位の不連続性を生み、変位量の違

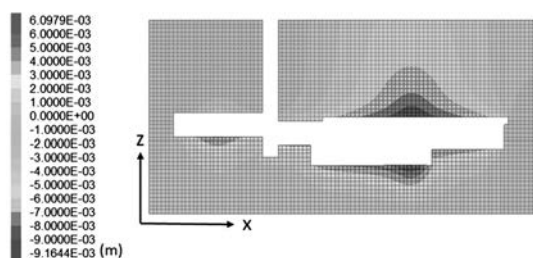


図-7 節理が存在しない断面の鉛直変位のコンター図

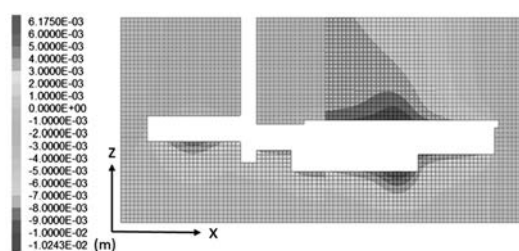


図-8 節理が存在する断面の鉛直変位のコンター図

いもたらず、これは大きな変化ではないが、実際の地下空間にはいくつもの節理が存在し、今回の研究結果よりも影響は大きいと考えられる。そのため、より安全な施設を建設するためにも、大谷地域の地下空間内で事業を起こす際の節理に関する対策は、不可欠である。

また支保工は、節理に対して大きな影響を示さなかった。事業者らは関心を持たなかったが、土木に関する知識の少ない被験者は不安要素と考えている方が少なくない。これより、支保工が大谷採石地下空間の構造安定性を向上させるうえで効果的か検討のうえで、使用する必要があるのか今後議論する必要があるといえる。

しかしながら、実際の地下空間内には、無数の節理がいたるところに存在しており、今回の解析結果が一概には言えない。今回の解析結果で得られた、節理による影響はわずかであったが、構造的に影響している以上、より効果的な支保対策の検討が必要である。

5. まとめ

本研究で得られた結果を以下にまとめる。

コンジョイント分析を用いたアンケートより、大谷地域に関わりのある事業者をはじめとした被験者が「事業を起こすことを想定した場合」に、安全・安心と思う仮想モデルがわかった。またそれらの被験者の地下空間内の不安要素に対する重要度もわかった。事業者は地下空間内に存在する「節理」に対する関心が高く、「構造形式」「立坑の数」などにはあまり関心がなかったのに対し、他の属性では「鉄骨補強」など、事業者が重要視していない要素に対して関心を向けていることがわかり、今後大谷地域で何らかの事業を起こす際には、各要素について注意を払い、工学的観点から検討する必要があると考える。

トラベルコスト法を用いたアンケートより、昨年からの大谷資料館のレクリエーション価値を推定することができた。その結果として、2015年が8,262円であったのに対し、2016年は11月が10,683円、12月が9,772円となった。実施した二度とも、昨年(2015年)よりも大きく価値が上がる結果となり、大谷のレクリエーション価値が

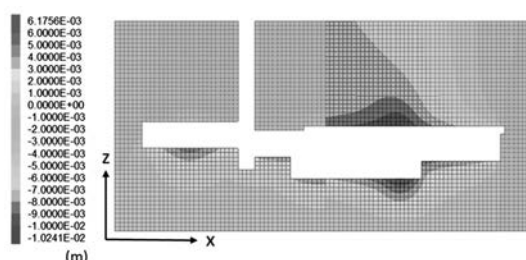


図-9 節理が存在する断面の鉛直変位のコンター図
(支保工あり)

大きく上昇している。

節理が存在する地下空間の数値解析より、節理が地下空間に与える影響を確認することができた。節理がある場合とない場合を比較すると、節理が存在する場合の断面では、鉛直方向で1cmの変異の変化が生じた。これより節理の存在によって、岩盤が不連続性を帯び、安定的ではない部分の変位が大きくなっている。

また、支保工の影響を考えた場合では、節理がある場合と節理がありかつ支保工が設置された場合の変位量を比較すると、それぞれほぼ同様の挙動を示し、鉛直方向の変位量を見ると、僅かな差しか見られない。この結果より、支保工を設置したことによる構造安定性への影響は小さいと考えられる。

今後の課題として、地下空間が避暑地のような施設として機能する地上の気温の高い7、8月に大谷資料館での同様のアンケート調査を行い、気温の低い時期との価値の比較を行うことや、一年を通して調査をすることで、より正確なレクリエーション価値を算出し、年間の総利用者数をもとにして、総便益を算出することが必要と考えられる。

参考文献

- 1) 斎藤明秀, 清木 隆文, 佐藤大地: 大谷石採石地下空間の安全性に着目した空間価値評価の試み, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第22巻, 土木学会, pp.29-34, 2017.
- 2) 高橋智信, 多田海成, 下池恭平, 清木隆文: 事業化を目指した大谷採石地下空間の価値評価, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第21巻, 土木学会, pp.57-64, 2016.