

利用者評価に基づいた施設における 大谷採石地下空間の有効利用に関する研究

STUDY ON OYA UNDERGROUND QUARRY FOR EFFECTIVE FACILITIES BASED ON USER ASSESSMENT

多田 海成^{1*}・岡崎 耀子²・佐藤 大地³・清木 隆文⁴

Kaisei TADA^{1*}, Yoko Okazaki², Daichi SATO³, Takafumi SEIKI⁴

In recent years, because of land shortage in urban areas and overcrowding, people require environmental impact reduction. One of the countermeasure, the use of underground space has been attracting attention. This study focuses on effective utilization of Oya underground quarries for expecting environmental impact reduction and improving cities with regarding underground spaces as a valuable resource spaces. The authors tried to propose useful underground facilities, i.e. skating rink, lodging house based on necessity opinion on questionnaire to inhabitants in Oya area and environmental impact evaluation. Eventually, those underground facilities are superior to those on the ground.

Key Words : *Oya tuffi, underground space utilization, heat load, questionnaire*

1. はじめに

(1) 研究背景

近年，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の削減などの環境負荷の低減が求められているためである．先進諸国が現在の速度で発展を維持すれば，都市部の過密化が進行し，深刻な問題となることは明らかである．地下空間の利用によって，都市の規模を現在のままとし，かつ，都市機能の向上を図ることが期待される．また，地下空間が有する特性を活かすことで施設の建設や運用に要する環境負荷を低減し，環境にも配慮することができる．既存の地下空間を貴重な空間資源として捉え，種々の用途への利用が求められている．

(2) 研究目的

栃木県宇都宮市大谷地区では，古くから建築資材として用いられてきた大谷石の採石が盛んに行われて来た．しかしながら，現在，採石跡地下空間で再利用されているのは，観光用に公開されているもの(大谷資料館)などのごく一部であり，大谷地区には利用されていない地下空間が多数存在している．これらの採石跡地下空間は貴重な空間資源であり，地下空間の有する特性をうまく利用することで，地上施設よりも環境負荷の低減を図

ることが出来ると考えられる．

そこで，本研究では，大谷採石地下空間を有効に利用することによって，大谷地区に観光客などが多く訪れ，まちが活発になることを目的とする．まずは，そのためのアンケート調査を行う．アンケート調査では，既往の研究¹⁾で最も需要があった，生活観光施設を中心にアンケート調査をし，各施設の需要がどのくらいであるのかを調べることを目的とする．さらに，アンケート調査の内容を元に，熱伝導解析を行い，地上と地下の環境負荷や電力消費の差を算出し，それによる比較を行う．またそれによって，利用者の意向と環境負荷という，二つの観点から施設の有効利用を検討する．

2. 栃木県宇都宮市大谷地区の概要

宇都宮市は，首都圏から約100 kmに位置し，東北新幹線でJR東京駅から49分，東北自動車道で浦和ICから98 kmと交通至便の地であり，古くから北関東エリアの中核都市として発展してきた．また，大谷石は，宇都宮市の中心から北西約7 kmの大谷町付近に，北西に約2 km，南西に約4 kmにわたり，薄い緑色の凝灰岩として所々に露頭が見られる．採石地域は北西に約3 km，南北に約6 kmにわたって分布している．

キーワード：大谷石，地下空間利用，熱負荷，アンケート

¹学生会員 宇都宮大学大学院 工学研究科 Graduate School of Engineering, Utsunomiya Univ, (E-mail: mt136430@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

²非会員 福島県庁 Fukushima prefectural

³非会員 宇都宮市役所 Utsunomiya city office.

⁴正会員 宇都宮大学大学院 工学研究科 Graduate School of Engineering, Utsunomiya Univ.

3. 大谷採石跡地下空間の有効利用のアンケート

(1) アンケート調査の目的

大谷地区の活性化を図るためには、地域住民や利用者の意見が必要かつ重要となる。利用者がどのような施設を求めているか調査することにより、利用者の需要を知り、より集客性のある施設が建設されることが期待される。そこで、大谷地区の活性化につながると考える施設を評価するアンケートを実施する。

(2) アンケート調査の内容

2013年11月5日、地盤工学会関東支部栃木県グループが支部創立10周年記念のイベントとして、大谷地区で開催した、「OHYA UNDERGROUND SYMPOSIUM ～地下があるから、できること～」に参加した方を対象にアンケートに回答して頂いた。アンケート方法として、SD法を利用し、既往の研究¹⁾で需要が大きかった生活観光施設を中心に設定した7つの施設が被験者にとって望ましいかどうかを7段階で評価して頂いた。アンケートの内容を図-1に示す。

(3) アンケート結果・考察

アンケート調査の結果を表-1に示す。また、その結果をグラフに表したものを図-2に示す。実施したアンケートにおいては、20代～60代まで幅広い年代の方のサンプルが取れた。また、全体の75%の方が、地下空間内に入ったことが有るということで、今回のアンケートに参加していただいた方のほとんどは、大谷地区でのイベントなどに関心がある傾向にあるといえる。しかし、大谷地区の方は全体の約4%であり、大谷住民はあまり地下空間に関心がないと考えられるので、より興味を持ってもらうような工夫が必要である。全体としての各施設の需要は、高いものから順に貯蔵施設、展示施設、飲食施設、防災施設、宿泊施設、スポーツ施設、医療機関となった。この結果の理由として、まず、アンケートの実施場所が地下空間内であったので、とても肌寒く感じられ、長時間地下空間に滞在することを連蔵される施設は評価が低くなったと考えられる。また、貯蔵施設や展示施設は実際に大谷地区でも行われており、イメージがしやすかったために評価が高くなったと思われる。

4. 有効利用を検討する施設

実施したアンケートにおいて、大谷在住の方が全体の約4%であり、大谷地区外からの意見が多数であったので、住民のためだけの施設ではなく、地区内外から集客

できるような施設、つまりスポーツ施設と宿泊施設について熱伝導解析を行い、環境負荷を算出する。さらに、既往の研究¹²⁾で検討済みである貯蔵施設と展示施設と環境負荷の観点から比較を行う。ここで、スポーツ施設としてスケートリンク、宿泊施設として簡易宿泊所の建設を想定する。

5. 地下空間施設の熱伝導解析

(1) 対象とした地下空間の概要

大谷採石地下空間はこれまでに戦時中では地下工場として利用され、現在では食料、飲料の貯蔵空間などとして利用されたものもある。今回は、実存する大谷地域の採石地下空間をモデルとして設定する。

対象とした採石地下空間には横坑と立坑が各1本ずつあり、もともとは2層の地下空間構造となっている。しかしながら、坑内底面を平らにするために埋め戻しが行われているため、現在は2層目の空間には入ることができない。また、立坑・横坑からの空気の流入による影響を考慮していないので、検討する空間とそれ以外の空間の間には隔壁を設置すると仮定した。対象の地下空間の全体図を図-3に示す。図-3の茶色の部分は埋め戻しがされている部分である。

次に挙げた大谷町の地下空間の利用方法はあなたにとって望ましいですか、7段階で好まし回答してください。

貯蔵施設（食糧保管・冷蔵室など）	望ましくない	1	2	3	4	5	6	7	望ましい
スポーツ施設（体育館・プールなど）	望ましくない	1	2	3	4	5	6	7	望ましい
展示施設（美術館・ミュージアムなど）	望ましくない	1	2	3	4	5	6	7	望ましい
飲食施設（レストラン・カフェなど）	望ましくない	1	2	3	4	5	6	7	望ましい
宿泊施設（ホテル・温泉旅館など）	望ましくない	1	2	3	4	5	6	7	望ましい
医療機関（病院・養老施設など）	望ましくない	1	2	3	4	5	6	7	望ましい
防災施設（避難所・シェルターなど）	望ましくない	1	2	3	4	5	6	7	望ましい

図-1 アンケート内容

表-1 アンケート評価平均と標準偏差

施設名	評価平均	標準偏差
貯蔵施設	6.05	1.38
スポーツ施設	3.73	1.73
展示施設	5.60	1.56
飲食施設	4.82	1.60
宿泊施設	3.91	1.97
医療機関	2.73	1.58
防災施設	4.32	1.68

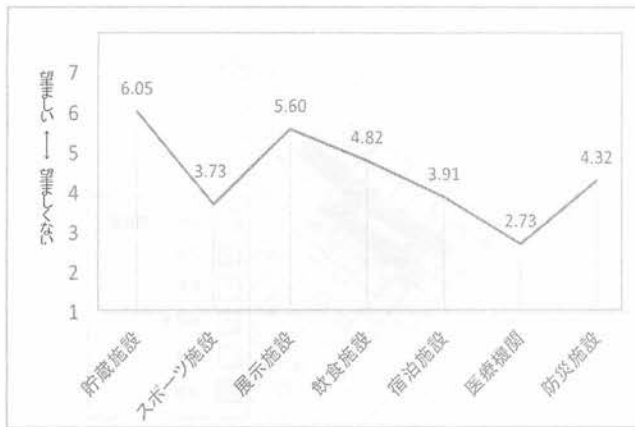


図-2 各施設におけるアンケート結果

(2) 解析手法

本解析では、有限差分法による解析ソフト FLAC3D (Itasca 社製) を用いてモデルを再現し、熱伝導解析を行う。解析モデルは、対象とした地下空間の横坑付近を検討範囲として構造を再現した。選定した地下空間を図-4 に、解析モデルを図-5 に示す。ここで、壁体は、そのまま大谷石壁面を利用すると仮定した。さらに、立坑と横坑からの空気の流れによる影響を考慮していないので、解析する空間とそれ以外の空間の間には隔壁を設置すると仮定し、施設を 50 年間稼働させることを想定した熱伝導計算を行い、施設稼働 1 年後、5 年後、10 年後、25 年後、50 年後の施設周辺温度を求めた。

(3) 解析条件

検討する両施設ともに、施設外の温度を大谷石平均温度である 13℃ とし、熱伝導解析を行う。スケートリンク施設³⁾の平面図を図-6 に示す。施設内温度はロビー、更衣室、休憩場所を 20℃、リンクの氷の表面を 4℃、冷却部を -10℃ とし、その他の部分は空調を入れないこととし、大谷石平均温度 13℃ を与える。また、宿泊所⁴⁾の平面図を図-7 に示す。施設内は全館、年間を通して集中管理で暖房をかけるものとし、全ての部屋の温度を 25℃ とする。

(4) 解析結果と考察

スケートリンクの解析結果を図-8 に、宿泊施設の解析結果を図-9 に示す。各施設共に、施設稼働 1 年後から 50 年後の温度変化の広がりを確認することが出来た。また、それぞれ施設稼働 1 年後から 10 年後までの温度変化の広がりが顕著であったことから、施設稼働初期の熱が比較的早く伝わるためだと考えられる。したがって、両施設共に長期利用に適していると考えられる。

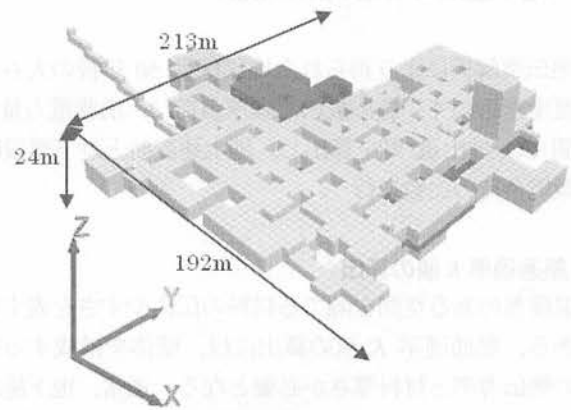


図-3 対象地下空間の全体図

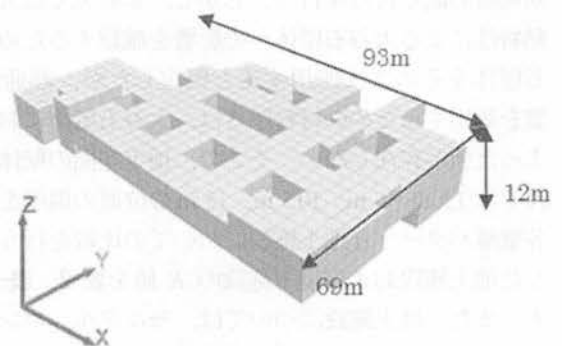


図-4 対象地下空間 選定後

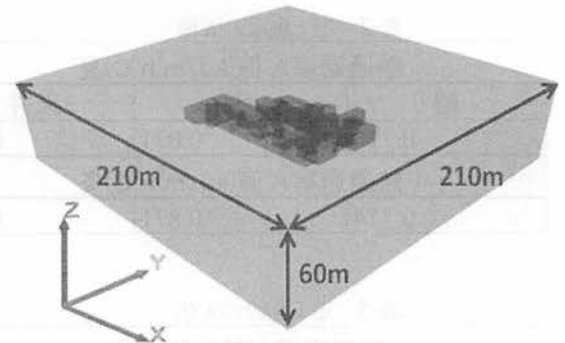


図-5 解析モデル



図-6 スケートリンクの平面図

6. 地下空間の有効利用の検討

熱伝導解析により得られた施設稼動 50 年後の大谷石の温度を用いて、各施設の冷暖房負荷⁵⁾、消費電力量⁵⁾、年間 CO₂ 排出量⁶⁾を算出し、地上建設時と地下建設時の環境負荷の比較を行う。

(1) 熱通過率 K 値の算出⁸⁾

温度差のある空間を隔てる材料の伝えやすさを表す値である、熱通過率 K 値の算出には、壁体を構成する材料の熱伝導率と材料厚さが必要となる。通常、地下施設を建設する際には、大谷石壁体を施設壁体として直接使用するのではなく、コンクリートやモルタルの吹付けや断熱材の貼り付けを行う。しかし、本研究では大谷石の熱特性による大谷石壁体への影響を確認するために大谷石壁体をそのまま使用すると仮定したが、熱通過率 K 値を算出するための材料厚さは、大谷石壁体において決まった値が存在しない。そこで、地下空間の壁体からそれぞれ 1.5 m、6 m、10.5 m、15 m の位置の温度を抽出し、各壁厚パターンと地上施設においての比較を行う。算出した地上施設および地下施設の K 値を表-2、表-3 に示す。また、地上施設については、モルタル、コンクリート、断熱材で構成される壁体及び床、天井を想定し、この材料及び熱伝導率、想定した厚さを表-4 に示す。

表-2 地上施設の K 値

熱通過率 K 値(kJ/m ² h°C)夏		
壁	床	天井
0.776	0.871	0.781
熱通過率 K 値(kJ/m ² h°C)冬		
0.774	0.871	0.778

表-3 地下施設の K 値

熱通過率 K 値(kJ/m ² h°C)			
壁厚	壁	床	天井
1.5m	2.375	2.395	2.313
6m	0.631	0.633	0.627
10.5m	0.364	0.365	0.363
15m	0.256	0.256	0.255

表-4 地上施設における壁体及び床、天井の材料と厚さ

熱通過率 K 値(kJ/m ² h°C)			
壁厚	壁	床	天井
1.5m	2.375	2.395	2.313
6m	0.631	0.633	0.627
10.5m	0.364	0.365	0.363
15m	0.256	0.256	0.255



図-7 簡易宿泊所の平面図

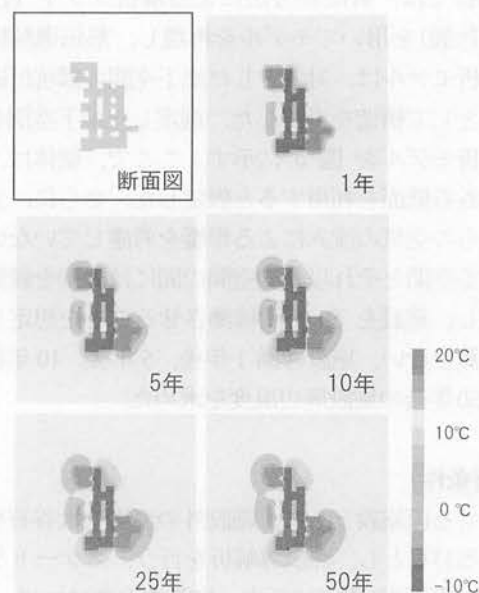


図-8 スケートリンクの解析結果(x-y 断面)

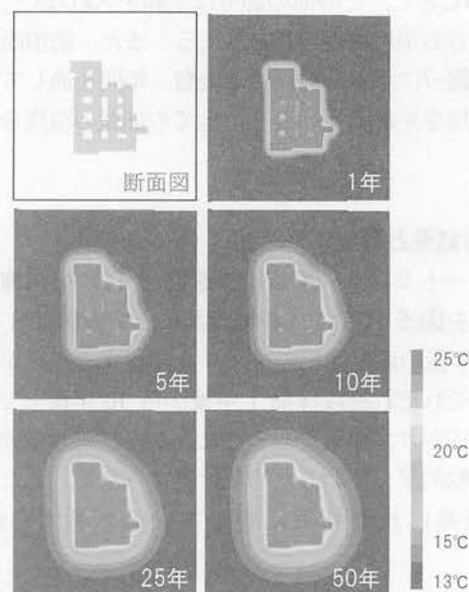


図-9 宿泊施設の解析結果(x-y 断面)

(2) 環境負荷結果

スケートリンクの年間CO₂排出量の結果を図-10、簡易宿泊所の年間CO₂排出量の結果を図-11に示す。スケートリンク建設を想定した検討では、年間CO₂排出量は地上施設に比べると約5%削減できることが示された。また、簡易宿泊所建設を想定した検討では、地下建設時の年間CO₂排出量は地上施設に比べて約40%削減できることが示された。これらの結果と、既往の研究のグレープフルーツ貯蔵施設と美術館における年間CO₂排出量を図-12に示す。グレープフルーツ貯蔵施設ではCO₂排出量が地上施設に比べて約53%、美術館では約35%削減でき、削減率が大きいものから、グレープフルーツ貯蔵施設、簡易宿泊所、美術館、スケートリンクとなった。ただし、各施設の地下空間の年間CO₂排出量は、どの検討においても最も負荷が大きくなった、壁厚1.5mの値である。これらの結果より、年間CO₂削減率が大きい、グレープフルーツ貯蔵施設、美術館、簡易宿泊所においては、地下施設の施設利用可能性は大いにあるといえる。また、スケートリンクにおいては、年間CO₂削減率が小さい結果となり、環境負荷の面では比較的に有利とはいえないが、夏季営業可能なスケートリンクが少ないことや、国内有数の地下空間のレジャー施設としての注目が期待されることから、スケートリンクにおいても施設利用可能性があると見える。

7. アンケートと環境負荷の結果比較

アンケート調査と環境負荷という2つの観点から大谷採石地下空間の施設利用可能性を調査したところ、利用者評価と環境負荷の結果に違いがあることが分かった。アンケート調査においては、評価が高いものから順に貯蔵施設、展示施設、宿泊施設、スポーツ施設という結果が得られ、また、環境負荷の面においては、年間CO₂削減率が高いものから順に、貯蔵施設(グレープフルーツ貯蔵施設)、宿泊施設(簡易宿泊所)、展示施設(美術館)、スポーツ施設(スケートリンク)となった。ただし、アンケート調査における宿泊施設とスポーツ施設の評価については有意差はなかった。この利用者評価と環境負荷の結果の違いについては、アンケートの考察で述べた、被験者のイメージのし易さが関連していると考えられる。そこで、このような年間CO₂排出量の優劣を事前に被験者に伝え、それぞれの施設がどれほど有益であるのかを認識させることで、アンケート調査の結果も変化するのではないかとと思われる。さらには、各施設が環境負荷の

面で地上施設より有利であるということを地域住民や施設建設を検討する企業側に提示することで、地下空間自体にポジティブなイメージを持ってもらうことができ、これからの地下空間の可能性を多くの人にアピールできるのではないかと期待される。また、大谷採石地下空間の施設を建設することで、大谷町の活性化にもつながると考えられる。

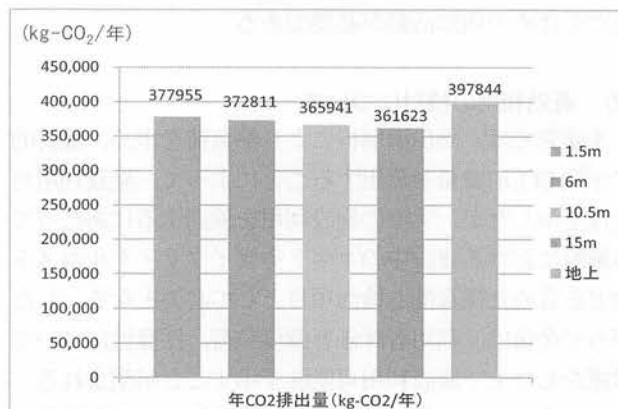


図-10 年間CO₂排出量 スケートリンク

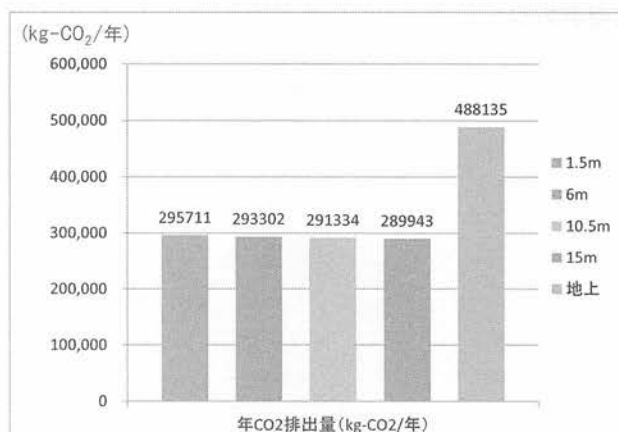


図-11 年CO₂排出量 簡易宿泊所

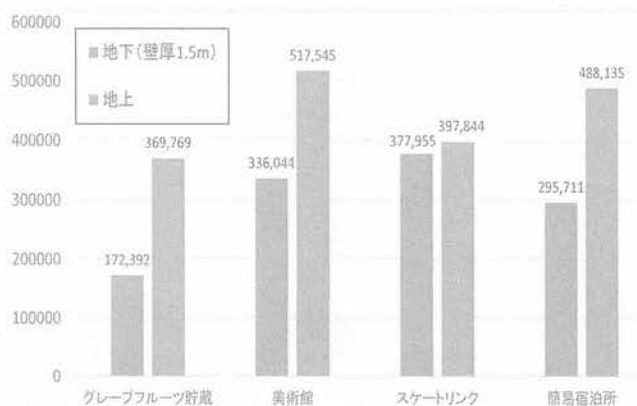


図-12 各施設の年間CO₂排出量(kg-CO₂/年)

8. 今後の課題

(1) アンケート調査について

今回実施したアンケートにおいて、大谷地区の住民は全体の4%であったが、これから施設建設や維持管理など、地域住民が主体となっていくことが理想であり、そのためには大谷地区の住民の意見が必要である。そこで、地域の方に地下空間の魅力を認識させ、興味を持っていただくための周知活動が必要である。

(2) 有効利用の検討について

本研究では、熱伝導解析により熱負荷を求め、最終的に年間CO₂消費量を算出することによって、施設利用可能性を示したが、実際の施設利用を検討するにあたって各施設における建設中のコストやライフサイクルコストなどを含めた採算性も検討項目として必要となる。したがって今後は、利用者評価と環境負荷、採算性について考慮をした上で施設利用可能性を示すことが望まれる。また、今回検討対象としなかった施設においても検討・比較し、地下空間の有効利用を現実的なものにしていく必要がある。

参考文献

- 1) 多田 海成, 井上 達也, 佐藤 大地, 清木 隆文: 利用者のニーズに着目した大谷採石地下空間の有効利用に関する検討, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第19巻, 土木学会, pp.39-44, 2014.
- 2) 清木 隆文, 菊池 正寛, 高橋 真太郎, 佐藤 大地: 構造形式の違いによる大谷採石地下空間の有効利用可能性に関する検討, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第19巻, 土木学会, pp.31-38, 2014.
- 3) 社団法人空気調和衛生工学会: 建築設備集 9 スポーツ施設—計画・設計—, オーム社出版, 1990.
- 4) 社団法人空気調和衛生工学会: 建築設備集 4 宿泊・宴会施設—計画・設計—, オーム社出版, 1989.
- 5) 岡 建雄: わかりやすいグリーンオフィスの設計, オーム社出版 1991.
- 6) 空気調和・衛生工学会: 空気調和設備計画設計の実務の知識(改訂2版), オーム社出版, 2007.
- 7) 社団法人空気調和・衛生学会, 第12版 空気調和・衛生工学便覧3 空気調和設備設計篇, 財団法人空気調和・衛生工学会出版, 1997.
- 8) 井上 達也, 清木 隆文, 早坂 晃, 佐藤 大地: 環境負荷低減のための大谷採石地下空間の有効利用と維持管理の試み, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第18巻, 土木学会, pp. 165-170, 2013.