

環境負荷と利用者の意向に着目した大谷採石地下空間の有用性評価に関する検討

宇都宮大学大学院 学生会員 ○ 井上 達也
 宇都宮市役所 佐藤 大地
 宇都宮大学大学院 正会員 清木 隆文

1. 研究背景

一般的に地下空間は、恒温性や恒湿性、遮音性、高い音響効果などの特性を有している。海外では、こういった特性を活かした地下空間の利用が先進的に行われている。日本においても、都市部の土地不足や、環境負荷の低減が求められているといった理由から、大深度地下をはじめとする地下空間の利用が注目されている。

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いる大谷石の採石が盛んに行われてきた。その結果、大谷石採石後には採石跡地下空間が多数形成された。しかし、それらの多くは放置され荒廃している。著者らの研究室は、これらの採石跡地下空間を貴重な空間資源と捉え、地下空間の特性や環境負荷等に着目した、大谷採石地下空間の有用性を検討する研究を行っている。

また、近年では宇都宮市による実存する地下空間を用いた実証実験や、大谷採石地下空間の事業化が計画されており、大谷採石地下空間の利用を含めた大谷地区の活性化を図る動きがあり、将来的には、地元が主体となって運営していくようなシステムづくりが、望まれている。

2. 研究目的

本研究では、大谷採石地下空間の利用が具体的になりつつあることもあり、ここで一度、現時点における既往の大谷採石地下空間の有効利用に関する研究^{1),2),3)}で検討された事項や手法、研究成果を比較・整理・検討し取りまとめる。また、既往の研究において課題点である、環境負荷の算出に用いる熱伝導解析の再現性の確認を行う。

既往の研究を取りまとめ、熱伝導解析の再現性を確認した上で、熱伝導解析を用いた環境負荷の算出

手順を提示する。そして、環境負荷の低減性能などの大谷採石地下空間の有効性を提示する。

また、SD法(semantic differential scale method)に基づく感性アンケート⁴⁾によって、利用者の大谷採石地下空間に対するイメージを抽出および利用者の意向を分析する。

最終的に、本研究は、環境負荷の低減性能(ハード的観点)と、利用者の意向(ソフト的観点)という、二つの観点をを用い、大谷採石地下空間の有用性の検討、並びに評価を行うことを目的とする。本報文では、環境負荷算出方法の検討と、SD法に基づくアンケート調査の結果について報告する。

3. 環境負荷算出方法の検討

環境負荷計算の中でも、熱特性の影響が大きい伝熱負荷は、(1)式⁵⁾で算出される。

$$\text{壁面積(m}^2\text{)} \times K \text{ 値(kJ/m}^2\text{h}^\circ\text{C)} \times \text{温度差}(\text{}^\circ\text{C}) \\ = \text{伝熱負荷(kJ/h)} \quad (1)$$

K 値(kJ/m²h[°]C) : 熱通過率

(1)式中の K 値は、屋根・外壁を構成する材料の材料定数と厚さによって算出される。しかし、大谷採石地下空間において大谷石壁体を直接外壁として利用する場合、大谷石壁体には厚さが規定されていないため、大石壁体の K 値算出時の材料厚さの設定が問題となる。そこで、本研究では、最適な大谷石壁体の熱通過率 K 値の算出手法を提示する。まず本研究は、様々なパターンの壁体厚さを想定した K 値算出と、温度固定境界条件を様々に変化させた一次元熱伝導解析を行う。その後、それぞれの結果を基に伝熱負荷計算を行い、計算結果を比較することで、最適な大石壁体の K 値の検討を行う。

(1) 様々なパターンの壁体厚さを想定した K 値算出
 K 値は、(2)式⁵⁾で算出される。

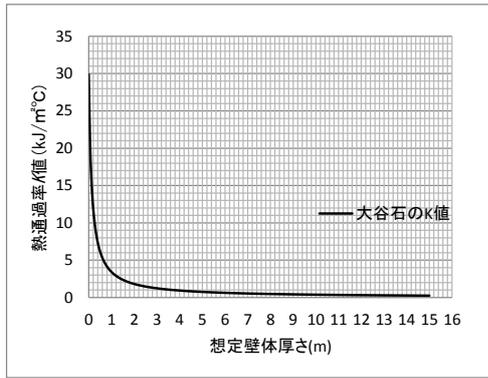


図 - 1 大谷石想定厚さ - K 値関係

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_0} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_i}} \quad (2)$$

K : 熱通過率(kJ/m²h°C)

α_i : 室内側壁表面での表面熱伝達率(kJ/m²h°C)

α_0 : 屋外側壁表面での表面熱伝達率(kJ/m²h°C)

λ_1 : 第 1 層の材料の熱伝導率(kJ/mh°C)

d_1 : 第 1 層の材料の厚さ(m)

λ_n : 第 n 層の材料の熱伝導率(kJ/mh°C)

d_n : 第 n 層の材料の厚さ(m)

表面熱伝達率を 29.88(kJ/m²h°C), 大谷石の熱伝導率を 3.87(kJ/mh°C)とし, 大谷石壁体想定厚さを 0m から 15m まで変化させたときの, 壁体想定厚さと K 値の関係を図-1 に示す. 結果, 大谷石の想定厚さが 3.75m 以上では K 値が 1.0 未満となる為, 伝熱負荷の算出時に危険側の値を算出する可能性がある.

(2) 境界条件を変化させた一次元熱伝導解析

モデル長 10m の一次元モデルで大谷石を再現し, モデルの一端を施設内の設定温度に, もう一端を地下空間平均気温 13°C に固定することで温度固定境界として, 一年分の熱伝導解析を行った. 施設内の設定温度には, 5°C, 10°C, 15°C, 20°C の 4 パターンを想定した.

(3) 大谷石壁体厚さ, K 値の検討

3. (2) 節の解析結果と(1)式を用いて伝熱負荷計算を行った. 伝熱負荷の算出に関して, 壁面積は 1 m² とし, K 値は 3. (1) 節の計算結果を基に, 想定する壁体厚さに応じて変化させた. 温度差は, 3. (2) 節の解析結果によって算出した値を用いた. 伝熱負荷と大谷石想定厚さとの関係を図 - 2 に示す. 図 - 2 より,

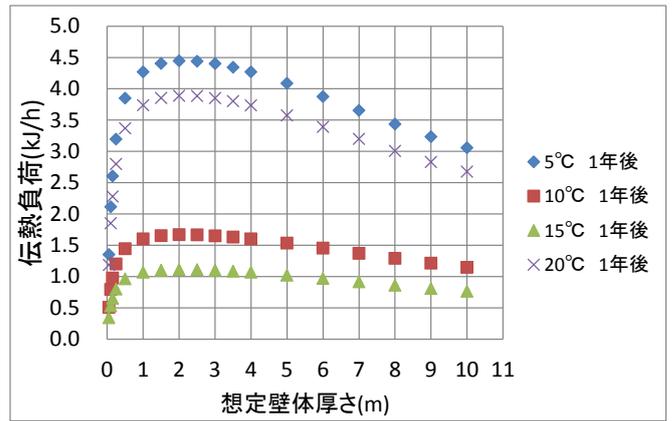


図 - 2 大谷石想定厚さ - 伝熱負荷関係

想定壁体厚さを 2m としたとき伝熱負荷の値が最も大きく算出された. つまり, 壁体想定厚さを 2m としたときもっとも安全側の値が算出される. 3. (1) 節の検討において, 想定壁体厚さは 3.75m 以下が望ましいという結果と合わせて考えると, 大石壁体の K 値は, 壁体厚さが 2m の時の最適な値であると考えられ, その値は(2)式より, 1.82(kJ/m²h°C)である.

4. 利用者の意向に基づいた有用性の検討

住民や一般人が地下空間やその利用に対して持つイメージの抽出は, 大谷採石地下空間の有効利用を進めていく上で必要かつ重要である. 本研究では SD 法に基づくアンケート調査を実施し, 利用者の意向について調査・検討を行う. 本研究では, アンケート結果を, まずは SD プロフィールに整理することで, 大谷採石地下空間に対するイメージの概略の傾向を属性ごとに比較する. その後, 「快適性」や「居心地の良さ」などを目的変数とした重回帰分析によって, それぞれに相関のある形容詞の抽出, 因子分析による共通因子の抽出を行うことで, 大谷採石地下空間に対する利用者の意向を分析する.

(1) アンケート概要

本研究では, 利用者の意向を抽出する手法として, SD 法に基づく感性アンケート調査を行う. 今回用いたアンケートを図-3 に示す. なお, アンケートの被験者は, 2011/11/18 に宇都宮市大谷町で行われた「Oya マチヅクリ★イベント」に参加した小中学生, 高校生, 大学生, 大学教員, 一般住民から構成される 72 名である.

・性別 男 女
 ・年齢 _____ 歳
 ・お住まいの地域
大谷地区 宇都宮市内 それ以外
 ・過去に大谷採石跡地下空間に入ったことがあるか?
ある ない

大谷採石跡地下空間に対するイメージ

非常に かなり 少し どちらでもない 少し かなり 非常に
 1 2 3 4 5 6 7

使いやすい _____ 使いにくい
 不格好な _____ 様になっている
 積極的な _____ 消極的な
 バランスの良い _____ バランスの悪い
 落ち着いた _____ にぎやかな
 不調和な _____ 調和した
 地味な _____ 大げさな
 広がりがない _____ 広がりがある
 安らぎを与えない _____ 安らぎを与える
 居心地の悪い _____ 居心地の良い
 開放的 _____ 閉鎖的

総合的に

快適な _____ 不快な

図-3 アンケート用紙

(2) アンケート結果

得られたアンケート結果を良いイメージで捉えられる場合を 7, 悪いイメージで捉えられる場合を 1 とし, 被験者の回答の平均値を求めた. アンケート結果を表 - 1 に示す. アンケート結果の SD プロフィール(SD 法により得られた結果の平均得点を折れ線グラフにしたもの)を, 図-4 に示す.

図-4 より, 「消極的な - 積極的な」以外の形容詞において平均得点が 4 以上であり, 被験者は大谷採石跡地下空間に対して良いイメージで捉えている傾向が読み取れる. 特に「にぎやかな - 落ち着いた」「安らぎを与えない - 安らぎを与える」「居心地の悪い - 居心地の良い」「不快な - 快適な」の形容詞の得点が高いという特徴が得られた. 「落ち着く」「安らぐ」「心地よい」「快適」といった, これらの形容詞は「快適性」を表すものであると解釈する.

図-4 より, 地下空間に入った経験のある被験者と, 経験のない被験者の違いによって, 「不格好な - 様になっている」「消極的な - 積極的な」の形容詞では, 「経験なし」の被験者の方が「経験あり」の被験者よりも高い得点を示す傾向が得られた. 「不格好な - 様になっている」の形容詞は, 「評価性」⁴⁾を示す形容詞として考える. また, 「消極的な - 積極的な」の形容詞は, 「活動性」を示す形容詞⁴⁾として考える. 「経験なし」の被験者の方が地下空間に対して, 形

表-1 アンケート結果

	平均得点		標準偏差	
	経験あり	経験なし	経験あり	経験なし
使いやすさ	4.69	4.67	1.22	1.36
格好	4.61	5.38	1.77	1.21
積極性	3.75	4.62	1.59	1.46
バランス	4.67	4.95	1.03	1.59
落ち着き	6.11	5.81	1.17	1.40
調和	5.19	5.05	1.41	1.33
地味	4.86	4.62	1.08	1.13
広がり	5.33	5.19	1.05	1.26
安らぎ	5.44	5.43	1.62	1.65
居心地	5.28	5.57	1.63	1.09
開放感	4.67	4.10	2.01	1.69
快適性	5.39	5.33	1.06	1.08

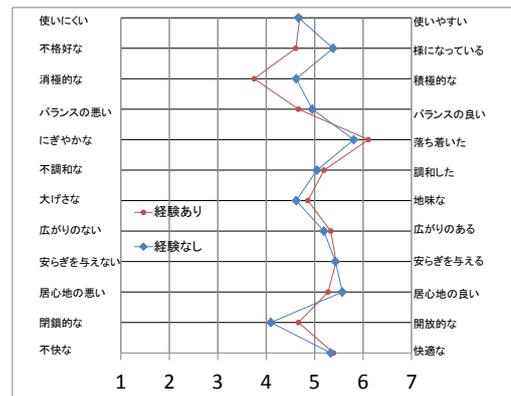


図-4 SDプロフィール(地下空間経験の有無)

状や雰囲気に対して高評価, かつ活動的なイメージを持つと解釈できる.

また, 「閉鎖的な - 開放的な」の形容詞では, 「経験あり」の被験者の方が「経験なし」の被験者よりも高い得点を示す傾向が得られた. 「閉鎖的な - 開放的な」という形容詞は「空間性」⁴⁾を示す形容詞として考えると, 「経験あり」の被験者の方が地下空間の広大さに対してポジティブなイメージを持つ傾向があると解釈する.

それ以外の形容詞に関しては, 双方の被験者間で大まかに傾向が類似していることから, 地下空間経験の有無という属性の違いによる地下空間に対するイメージへ与える影響が小さいと考えられる.

5. まとめと今後の課題

(1) まとめ

本報文では, 環境負荷算出方法の検討を行い, SD法に基づくアンケート調査の結果について考察した.

(a) 環境負荷算出方法の検討

熱特性の影響が大きい伝熱負荷の算出に用いる熱通過率 K 値の算出について検討を行った. 様々なパターンの壁体厚さを想定した K 値算出と, 温度固定境界条件を様々に変化させた一次元熱伝導解析に基

づいて検討した結果, K 値の最適値は, $1.82(\text{kJ}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C})$ となった.

(b) SD 法に基づくアンケート調査

SD プロフィールの比較・検討によって, すべての形容詞において平均得点が 4 以上であり, 被験者は大谷採石地下空間を良いイメージで捉える傾向が読み取れた. しかしながら, 被験者の属性に偏りがあることや, サンプル数の少なさが懸念される.

(2) 今後の課題

(a) 環境負荷の算出方法

今後は, 今回提示した方法に従って環境負荷計算を行い, 地上施設と地下施設で環境負荷を比較することで, 熱特性に着目した工学的観点からの地下空間の有効性の検討を行う.

(b) 利用者の意向に基づいた有用性の検討

本論文では SD プロフィールについての比較のみ行ったが, SD プロフィールの比較だけでは, 各形容詞の相関関係を図ることはできない. 今後は「快適性」や「居心地の良さ」などを目的変数とした重回帰分析による, それぞれに相関のある形容詞の抽出, 因子分析による共通因子の抽出により, 利用者の意向を把握する.

(c) 大谷採石地下空間の有用性評価

最終的には, 環境負荷の低減性能(ハード的観点)

を示し, 利用者の意向(ソフト的観点)という, 二つの観点を併用し, 大谷採石地下空間の有用性の検討, 並びに評価を行う.

参考文献

- 1) 清木隆文, 鮎澤淳一: 採石跡地下空間の現状と有効利用に関する研究, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第 7 巻, 土木学会, pp.287-294, 2002
- 2) 舟山雅史, 清木隆文, 西田幸夫, 西淳二: 大谷採石地下空間の環境負荷に基づいた再生用途に関する研究, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第 14 巻, 土木学会, pp.1-10, 2009
- 3) 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.
- 4) 今泉 暁音: 感性と力学を融合した地下空間形状のデザイン手法に関する基礎的研究(平成 22 年度 山口大学大学院理工学研究科博士論文), 2010.
- 5) 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.