

大谷採石地下空間に対する利用者評価と環境負荷および地下位を考慮した施設利用可能性の検討

宇都宮大学大学院 学生会員 ○多田 海成
 福島県庁 岡崎 耀子
 東京都庁 田中 純
 宇都宮大学大学院 正会員 清木 隆文

1. はじめに

昨今の都市部の異常な過密化、地球温暖化の要因物質を低減していく上で、大谷採石地下空間をはじめとする地下空間が有する特性を利用し、地下空間を貴重な資源と捉え、種々の用途に沿った有効利用を行うことは有意義である。現在、栃木県宇都宮市大谷地区において、大谷採石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。

本報文では、利用者の意向を調べるためのアンケート調査を行う。アンケート調査の内容を元に、熱伝導解析を行い、環境負荷を算出することによって、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。さらに、大谷採石地下空間に対し、既存の研究¹⁾よりも現実の条件を反映させるため、地下水の変動・水温などの外的要因が、地下空間の熱効率に及ぼす影響に関して数値解析を行う。大谷採石地下空間では、現在でも地下水が存在する。本報文では、その地下水が地下施設の熱効率にどのような影響を及ぼすか初歩的な試みとして多くの熱が発せられる都市施設を考慮し検討する。そして年中低温の地下水を、天然の冷却媒体とみなした時、想定した地下施設を実際に稼働させた際に発生する熱量と、地下空間内の温度環境を解析により明示する。

2. 大谷地区の地下空間利用に関するアンケート調査

(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って、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られ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²⁾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(貯蔵施設、スポーツ施設、展示施設、飲食施設、宿泊施設、医療機関、防災施設)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。

(3) アンケート結果・考察

アンケート結果より、全体としての各施設の需要は、7点満点で高いものから順に貯蔵施設(6.05)、展示施設(5.60)、飲食施設(4.82)、防災施設(4.32)、宿泊施設(3.91)、スポーツ施設(3.73)、医療機関(2.73)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想させる施設は、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。

3. 選定した施設による熱伝導解析

実施したアンケートでは、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。したがって、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^{2,3)}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。

本解析では、解析ソフト FLAC3D を用いてモデルを再現し、熱伝導解析を行う。解析条件として、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、50年後までの熱伝導解析を行う。

施設の平面図を図-1に示す。スケートリンクの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と仮定した。また、簡易宿泊所内は全館暖房とし、全ての部屋に25℃を与える。

この解析結果より、解析における50年後の大谷石の温度を用いて環境負荷を算出する。

4. 地下空間の有効利用の検討

熱伝導解析により得られた周辺温度を用いて、各施設の冷暖房負荷、消費電力量、年間CO₂排出量を算出し、地上建設時と地下建設時の環境負荷の比較を行った。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-2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。

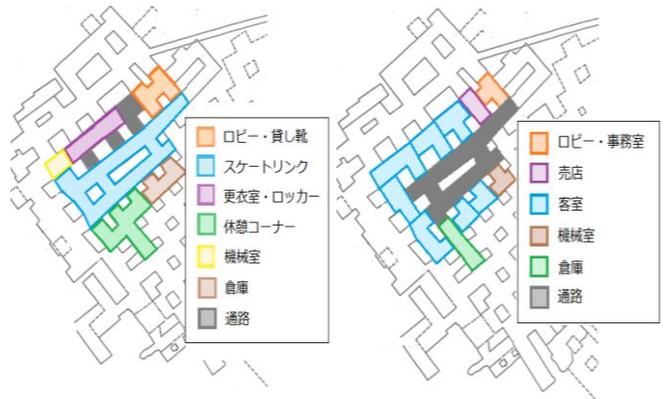


図-1 施設の平面図
 (左図:スケートリンク、右図:簡易宿泊所)

5. 都市施設の熱伝導解析

地下水が地下空間の熱効率に及ぼす影響を検討するにあたり、施設として都市施設を想定する。都市施設として、コンテナ型データセンターの設置を想定し、地上に設置した場合と地下空間に設置した場合の比較を行う。地下空間に設置したデータセンターは14機であり、同数のコンテナ型データセンターを地上に設置した場合との比較を試みた。地下空間モデルと設置箇所は図-3に示している。

(1) 概要

都市施設の解析は、データセンターを地下空間に設置し、50年間稼働させた場合に発生する熱によって、空間内温度がどの程度上昇するかを求める。本解析でも解析ソフト FLAC3D を用いて解析を行うが、解析ソフト FLAC3D では空気と水という二相流体が同時に存在する場合の熱伝導解析は行うことができない。そのため、(a)大谷採石地下空間中の空気を流体として扱った解析と、(b)大谷石中の地下水を流体として扱った解析を行うこととした。

(2) 解析結果

(a)大谷石 - 空気を流体とし扱った解析の結果は図-4に、(b)大谷石 - 地下水を流体として扱った解析の結果は図-5に示す。図-5より、地表面からの空気の流入を考慮した解析と比較すると、地下水面近傍においてデータセンターから発せられる熱の広がり方が小さくなることを確認された。この原因は水の比熱が大谷石に比べ非常に大きい⁴⁾ために、地下水が暖まりにくいことが理由と考えられる。

6. 地下空間の有効利用に関する考察

図-4, 5 から一般的に、地表面近傍では気温の影響により地温は変化するが、地下10m以深になると、年間を通して地温の変化が見られなくなるため、地下水により冷却された地中熱の影響により、坑内温度も空気の流入を考慮した解析よりも早い時期に定常状態になると考えられる。地下水があることにより、生活観光施設のような地下施設から多くの熱が発せられる施設において、地下水が存在する場合の方が環境負荷の低減にあたり有効に働くと考えられる。地下水を利用し、地下空間内を生活観光施設や都市施設として利用することは有効的である。

7. まとめ・今後の課題

(1) まとめ

アンケートと環境負荷の結果においては、利用者評価と環境負荷の結果に違いがあった。これは、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。

都市施設の解析において、サーバーからの排気熱により、地下空間内の熱の広がり方が今回の解析とは異なる結果が得られる可能性がある。さらに地下空間からの熱損失は地盤の温度上昇に用いられるため、地下空間の熱損失は地下水位により影響され、地下水が冷却媒体として働いていると推測される。

(2) 今後の課題

アンケートと環境負荷の結果においては、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。

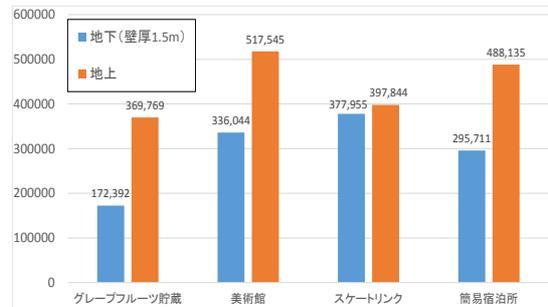


図-2 各施設の年間CO₂排出量(kg-CO₂/年)

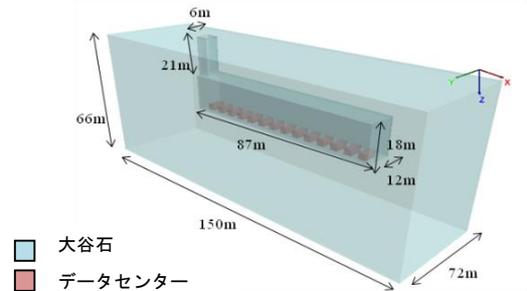


図-3 解析地下空間モデル

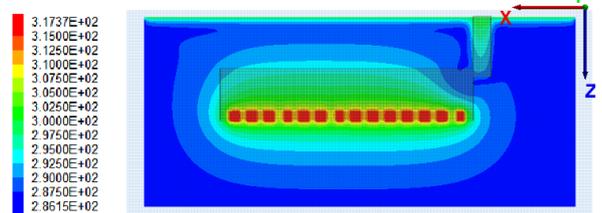


図-4 空気を流体とした解析結果(50年目)

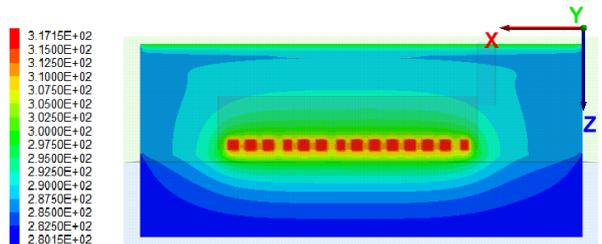


図-5 地下水を流体とした解析結果(50年目)

都市施設の解析において、実際の環境を更に再現するため、より広大な地下空間での解析、冬季・夏季における地下水位の変動を調査し、最も環境負荷が大きくなる条件を求める必要がある。また、地下空間内の地下水が都市施設によって温められ、冷媒として効果がなくなる可能性があるため、その対策について解析を通して考慮する。

参考文献

- 1) 早坂晃, 井上達也, 清木隆文: 地盤の熱特性に基づいた大谷採石地下空間の有効性評価に関する検討, 第8回地盤工学会関東支部発表会発表講演集, pp.377-379, 2011.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 国立天文台編: 理科年表机上版第80冊, 丸善株式会社, 2007.