

施設供用時及び維持管理時を想定した大谷採石地下空間の有用性評価

前田建設工業(株) 早坂 晃
 宇都宮大学大学院 学生会員 井上 達也
 (株)竹中土木 大坪 孝太郎
 宇都宮大学大学院 正会員 ○ 清木 隆文

1. 研究背景及び目的

宇都宮市大谷町では平成元年から3年にかけて大規模な地下空間陥没事故が発生した。その後、採石地下空間の安全性とその空間の有用性を地域住民に理解して頂くために実験・調査などが行われている¹⁾。また今後の先進国の発展を考慮すると、地下空間を貴重な空間資源と捉えて有効利用することが求められている。本研究では、現存する大谷採石地下空間を有効利用することを目的に、地上・地下で同規模の施設を対象に、建設から維持管理に至るまでのLCCを算出して、地下構造物の有用性について検討する。また、電力消費量の算出に関して、地下空間内の年間を通して変化する温度環境を数値解析で推定する。これらの結果もとにして、維持管理に必要なコストを算出し、個々の数値を足し合わせた結果をもとにして、維持管理に必要なLCCとして示し、地上施設と地下施設との比較を行う。

2. 対象地下空間概要

大谷地区は、栃木県宇都宮市の中心から北西約7kmに位置している。これまでに大谷採石地下空間は戦時中に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ているものもある。この地下空間の有効利用の方向性として、新たに日光が不要な食料・植物の栽培やLNGなどの資源貯蔵の施設としても検討されている。本研究では、現存する採石地下空間をモデル化の対象とする。

3. 有効利用の検討施設

本研究で、地下空間の有効利用の検討を行った施設は、都市施設に分類されるデータセンターである。この施設はコンテナサーバーを地下空間に7機設置することを想定し、立坑からの外気の流入や、データセンターの稼働によって暖められた空気の移流を考慮する。また、地下施設の長期利用を想定し、有効利用の検討を行う。

4. 地下空間設備の熱伝導移流解析

都市施設の熱環境の解析は、データセンターが設置された地下空間の温度変化を求めることを目的とし、検討対象とした地下空間の一部にコンテナサーバーを設置した状況をFLAC3D(Itasca社)によってモデル化する。入力パラメータは、湿潤状態の大谷石の数値を採用した²⁾。初期温度286K(13℃)とし、温度固定の境界条件を解析モデルの最外面に286K(13℃)に与える。コンテナサーバー

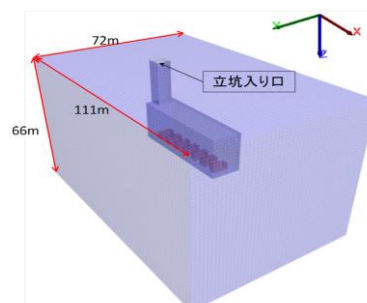


図-1 数値解析モデル (濃色部が採石地下空間)

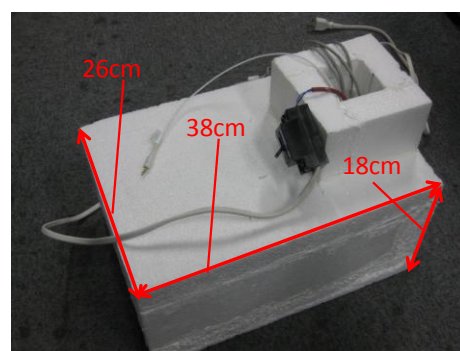


図-2 実験模型

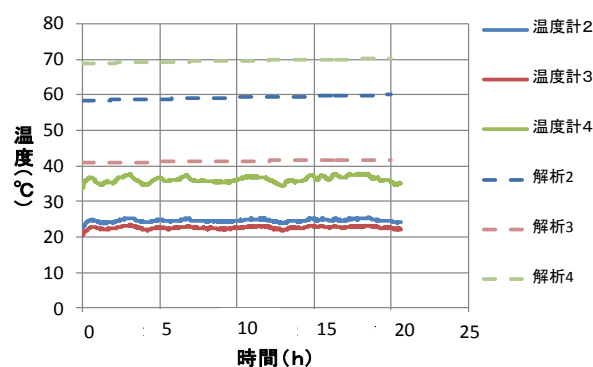


図-3 解析値と実測値の比較(温度計、解析2～4は温度を測定した位置番号)

内温度は、298.15K(25℃)に固定し、既往研究からデータセンターが稼働した際に発する温度を318.15K(45℃)に設定した。この温度を、コンテナ南側壁面に設定することで、データセンターが稼働した際に発する熱を再現した。

以上の条件で、施設を50年間稼働させた場合のコンテナサーバーの周辺温度の分布を算出する。

5. 数値解析による模型実験の確認

小規模な模型実験(図-2)を行い、実際に空間に

キーワード 大谷石, 採石地下空間, 環境負荷, 供用・維持管理, 有用性検討

連絡先 〒321-8585 宇都宮市陽東7丁目1番2号 宇都宮大学大学院工学研究科 E-mail : tseiki@cc.utsunomiya-u.ac.jp

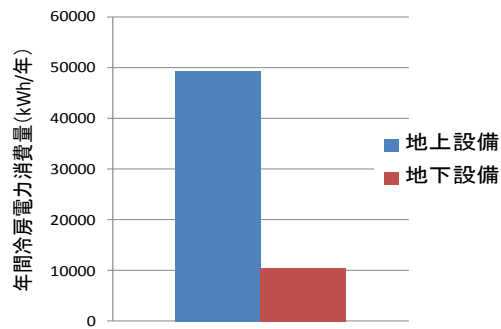


図-4 年間冷房電力消費量

熱源を設置し計測した実測値と、数値解析で得られた値を比較する(図-3)。その結果、実測値と解析値に大きく差が出た。しかし測点間温度の高低の傾向は同様であり、熱源直上にある計測値4と解析4が最も高く、立坑から最も近い位置に設置した観測点3と解析3が外気の影響を受けて、模型下部に設置した観測点2と解析2よりも温度が低い。

6. 地下空間の環境負荷における電力消費量算出

数値解析から得られた施設周辺温度を用いて、熱負荷計算³⁾を行い、年間電力消費量を算出し、同様の規模を想定した地上施設と地下施設との比較を行った。消費電力量は、温度が変動しやすい地上施設よりも、恒温性という特性を持つ地下施設の値が小さくなった(図-4)。また、環境負荷値は坑内温度が高ければその分負荷が増す結果となる。実現象にくらべ、数値解析で得られた負荷値が低くなることはないために、数値解析によって得られた値は安全側を示すとして、以下の結果整理に用いた。

7. 地下構造物の維持管理

本研究ではまた、供用時に必要とする維持管理の視点から、コンテナサーバーの土台や外壁のフレームとして用いられる鉄筋コンクリートを対象とした維持管理について検討する。これらをLCCの視点からコスト換算した。このコストは、鉄筋コンクリート構造物におけるコンクリートの中性化深さと鉄筋かぶり厚さのばらつきを統計的に考慮して算出した。具体的には、構造物の設計耐用年数、または部材が腐食する確率を定量的に算出し、設計耐用年数(施設寿命)に必要な施設資材(鉄筋かぶり厚さ)と工事費を求め、それらを施設供用に必要な維持管理費とした⁴⁾。

8. 施設の耐用設計年数に必要な維持管理費

都市施設のLCCを検討した必要コストは、本来維持管理のために、補強・補修期間を決定して算出しないといけないが、今回は補強・補修期間が検討できなかったために、以上のコスト(初期投資費用)を維持管理に必要なコストと定義し、施設のLCCを求めた。鉄筋かぶり厚さと施設寿命には比例関係がある³⁾ので、この関係をもとにして、施設耐用年数として考えられる50年間に必要な鉄筋かぶり厚さを算出した。また、鉄筋かぶり厚さに対応した必要コストをもとに算出した^{5),6)}。この他の費用として地下設備更新費用を加算した。先に算出した電力消費量は、予測電気料金単価からコストに換

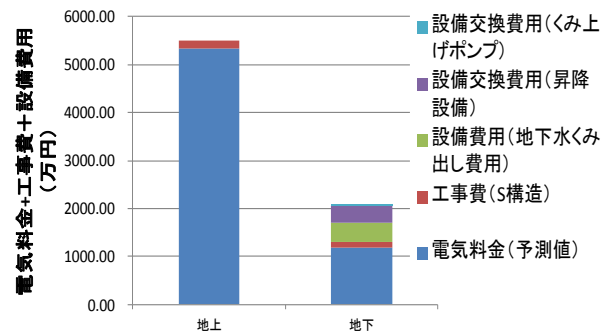


図-5 施設におけるLCCの比較

算した。

以上のコストを足し合わせたものを施設供用時に必要なLCCとして、地上と地下に施設を設置した場合で比較を行った(図-5)。このLCCは、50年間という長期的の施設共用時に発生する管理費(電気料金)が補修・補強(初期投資によって構造物の寿命を延命化した場合)に比べて、施設全体に占める割合が非常に大きい。コスト全体としてかかる費用が、地上施設に比べ地下施設は総コストが3414万円安く、地上で施設を稼働させるコストの62.2%を削減できる結果となった。なお、本研究では、設備更新費用を50年間で1回と仮定した。

9. まとめ及び今後の課題

(1) まとめ

大谷採石地下空間に都市施設を建設し、供用時および維持管理の過程を検討した結果、地上に同様の施設を建設するよりも、既存地下空間に施設を建設する方が経費を節減できる可能性がある。

(2) 今後の課題

LCC算出において補修・補強を行う期間、その際に必要な補強コストの算出、さらに東日本大地震のような大規模災害に備えて、リスクマネジメントの検討が必要である。

参考文献

- 1) 井上達也, 清木隆文: 施設の熱負荷推定に基づいた大谷採石地下空間の有効利用に関する研究. 地下シンポジウム論文・報告集, 第17巻, 土木学会 [一般投稿論文], pp.211-216, 2012.
- 2) 土木学会岩盤力学委員会, 熱環境下の地下岩盤施設の開発をめざして—熱物性と解析—, 土木学会, 2006.
- 3) 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.
- 4) 高橋京, 清木隆文: 大谷採石地下空間の有効利用と維持管理に関する研究. 地下シンポジウム論文・報告集, 第15巻, 土木学会 [一般投稿論文], pp.71-78, 2010.
- 5) コンクリート構造物の耐久性診断シリーズ3 鉄筋腐食の診断, 森北出版, 1986.
- 6) 和泉意登志, 嵩英雄: 鉄筋のかぶり厚さの信頼性設計による耐久性向上技術の研究その1~3, 日本建築学会大会技術講演梗概集, 1984.