

地盤の熱特性に基づい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 学生会員 ○ 早坂 晃
宇都宮大学大学院 学生会員 井上 達也
宇都宮大学大学院 正会員 清木 隆文

1. はじめに

1.1 研究目的と背景

宇都宮市大谷町では現在までに地下空間陥没事故が発生している。大谷採石地下空間の危険性またはその空間の有用性を地域住民に理解して頂けるように実験・調査などを行っている。また今後の先進国の発展を考慮していく場合、都市部の過密化や地球温暖化につながるCO₂等の環境負荷を低減する上で、地下空間を貴重な空間資源と捉え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ふまえ、地上・地下で同規模の施設の建設から維持管理に至るまでのトータルコストを算出して、価値の定量化から指標を設定し、地下構造物の有用性について検討する。その中で環境負荷に影響を与える地盤の熱特性について実際に設備を稼働させることにおいて発生する熱量を対象に、数値解析を通して算出する。さらに、トータルコストの一つとしてあげられる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検討すると同時に実験を行い解析結果との整合性を確認する。³⁾

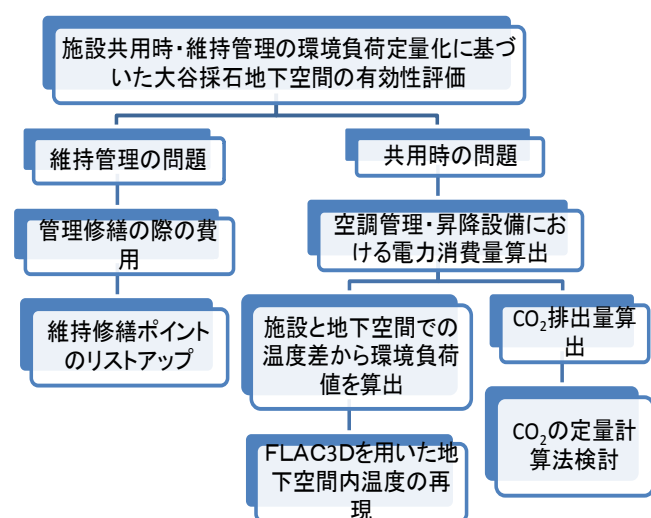


図-1 研究フローチャート

1.2 対象地下空間概要

大谷地区は、宇都宮市の中心から北西約7Kmに位置している。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。この地下空間の有効利用に際して日光を必要としない食料・植物の栽培やLNGなどの資源貯蔵としても新たに検討されている。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。³⁾

2. 模型実験

2.1 概要

今回模型実験の壁材に用いた材料は、ビーズ法ポリスチレンフォームである。実験に用いたモデルは、ビーズ法ポリスチレンフォームの板で密封して空間を内部に作り出したものと、外気と空間内の温度差によって空気の流入を起こす立坑を準備した。

模型の外部寸法は縦26cm 横38cm 高さ26cm 材料の厚さ4cmとなっている。

観測点は模型内に5箇所、外部に2箇所設置(図-2)して、二日間計測を実施した。

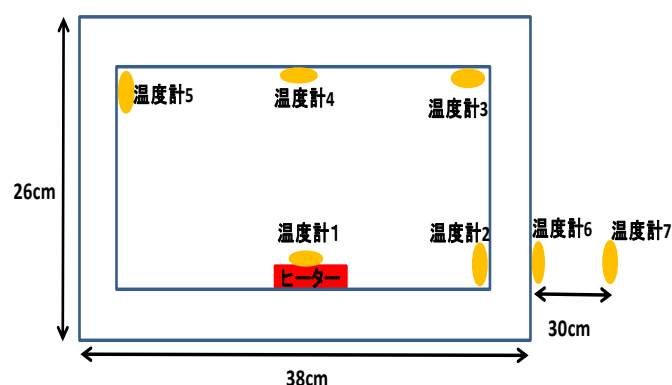


図-2 温度計設置場所平面図 (y=13cm 断面)

2.2 目的

大規模構造を解析によって検討するため、に実測値と解析値を比較可能な小規模模型を用いて比較し整合性を検討する。

キーワード 大谷石 熱特性 有効利用

連絡先 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7丁目1番2号 宇都宮大学工学部

E-mail: t082830@cc.utsunomiya-u.ac.jp

2.3 実験結果

実験によって得られた結果を図-3、図-4に示す。また模型内外の各地点における定常状態を表-1に示す。

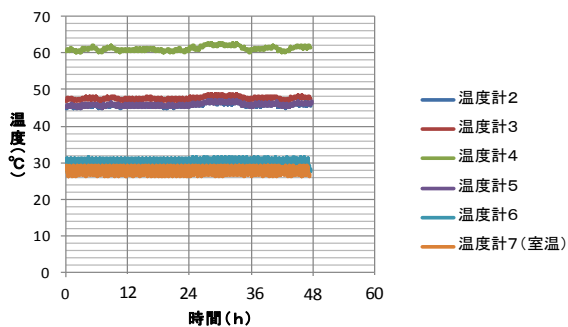


図-3 模型実験の温度分布

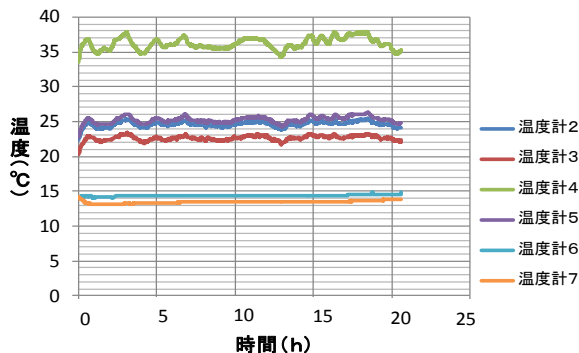


図-4 模型実験の温度分布（立坑あり）

表-1 定常時の各位置の平均気温

	定常時平均気温(°C)						
	温度計1 (ヒーター)	温度計2 (模型下部)	温度計3 (模型上部)	温度計4 (ヒーター) 上部	温度計5 (模型上部)	温度計6 (模型外部)	温度計7 (室温)
立坑なし	131.52	45.70	47.61	61.23	45.50	29.14	27.69
立坑あり	96.93	24.62	22.64	36.20	25.27	14.35	13.48

※立坑を考慮したモデルは、室温温度と熱源温度の設定値を変えて計測している。

2.3 考察

温度はヒーターに近い位置から徐々に温度が下がる分布を示し、計測期間中、定常である（図-3）。また温度計6の温度は、外気よりもわずかに高いので、内部の熱が壁材を通して外部に伝わっていることがわかる。立坑を考慮した実験（図-4）では、先の実験において初期の段階から定常になることから、実験期間を短縮して計測を行った。立坑付近の温度計3は、同じ測定位置の立坑なし実験モデルで測定した場合に比べ室温よりも低くなっていることから、立坑から流入する外気の影響を受けていることが分かった。

3. 地下空間設備の熱伝導移流解析

3.1 概要

本研究で、都市施設（データセンター）を地下空間の施設として検討対象とした。この都市施設では、コンテナサーバーを7機設置することを想定した。この構造を数値解析で再現し、年間を通して施設を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。また実験と解析結果との整合性を確認する解析は、実験で用いたモデルを解析によって再現し、温度分布の変化を算出した。

特に本研究では、より実際の環境に近づけるために、年間の地表面の平均温度の変化を連続的に再現し、都市施設の長期利用を検討するために、50年稼働させた場合の温度分布を解析によって再現した。

3.2 解析手法

解析モデル（図-5）に初期温度 286K(13°C)と、境界条件として解析モデルの最外面に286K(13°C)を設定し、コンテナサーバー内温度を298.15K(25°C)に固定した。その後、データセンターが稼働した際に発する熱量を解析モデルに与える必要があるが、本解析では、熱量ではなく温度(318.15K(45°C))を設定した。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。本解析では年間の地表温度分布を月ごとに变化させ、毎月的空間内温度を抽出した³⁾。

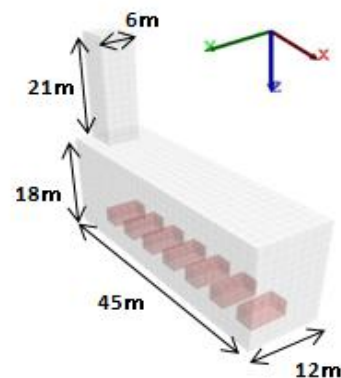


図-5 施設のモデル

3.3 解析結果

(1) 実験模型

実験で計測した温度計と同じ位置に解析における温度の観測点を置き、比較を行う。

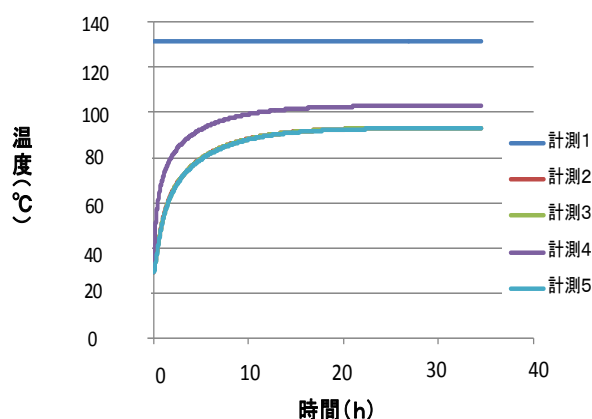
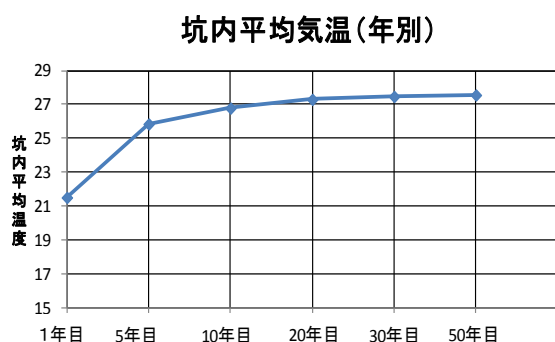


図-4 解析結果における実験模型の再現

(2) 都市施設

図-5 坑内平均気温(年別)⁴⁾

(3) 考察

図-4 から実験値と解析値については時間経過とともに室内温度が定常になっていくことがわかる。しかし実測値との温度比較において解析値における温度が大幅に高くなるので、実測値に近い温度分布が計測できるような物性値の調整が必要である。都市施設を50年間という長期的な稼働を行うことによって、坑内平均気温は年々上昇傾向にあるが27℃付近で定常になると推測される(図-5)。また月別の平均気温の分布においては稼働年月が経つに従って、坑内温度が上昇し、外気の温度変化の影響を受けにくくなるため、月差がなくなる。

4. 施設の消費電力算出

4.1 電力消費量の算出手法

本研究では、地上・地下での同規模の都市施設を稼働させるうえで発生する電力消費量を算出する。また、月ごとの電力消費量を算出し、その結果を足し合わせて年間の電力消費量とした。また、一番負荷値が大きいと思われる50年

目での1年間の消費電力量を算出する。なお、年間電力消費量は地下施設の場合は昇降設備の電力消費量を足し合わせた値とする¹⁾。

4.2 電力消費量算出結果

今回はピーク全冷房負荷と、年間電力消費量で検討する。本研究が既往の研究に比べ負荷が少なく算出される結果を得た(図-6, 図-7)。コンテナサーバーの断熱性能は、地上・地下施設で同一として年間冷房負荷を算出したため、冷房負荷は設置された空間の温湿度に依存するが、今回湿度計算は、既往の研究結果と同様とした²⁾³⁾。

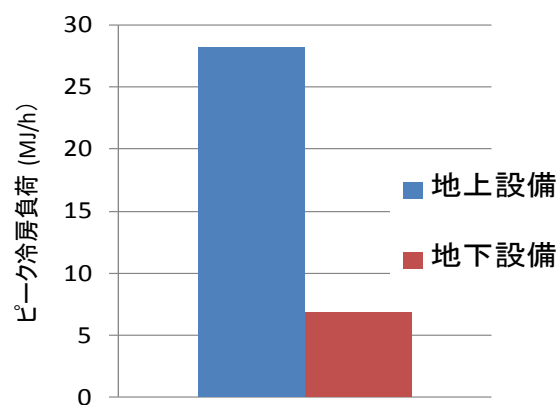


図-6 ピーク全冷房負荷

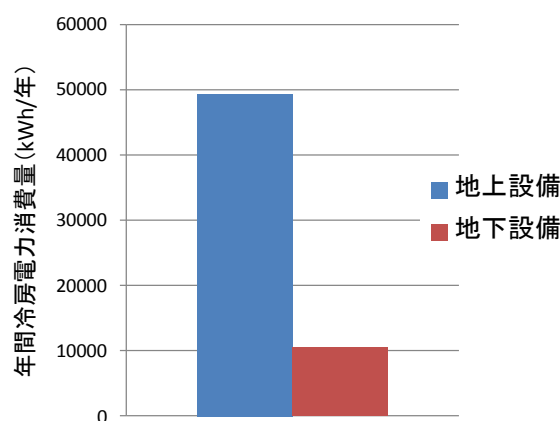


図-7 年間冷房電力消費量

4.3 電力消費量に関する考察

ピーク全冷房負荷値・電力消費量は地上施設の稼働時よりも採石地下空間内の方が小さく、施設稼働の方が有利である(図-7)。しかし一方で、小規模な空間を模した実験を再現した結果をそのまま大規模な解析にそのまま反映できるか検討する必要がある。

5. 大谷採石地下空間有効利用に関する考察

電力消費量による年間 CO₂ 排出量は、電力消費量に伴う CO₂ 排出量に依存するため、年間消費電力における結果と同様に、地下空間の方が有利と言える。また人の出入りの少ない都市施設は、施設規模に応じてある程度の広さの土地を必要とする地上よりも有効に地上空間を利用できる。さらに、年間電力消費量は冷房負荷に依存するので、電力消費量に関して、地下空間はコンテナ型データサーバーを設置する空間として、地上よりも有利と言える。しかし恒温恒湿という地下空間の条件があるため構造物の腐食の進行が加速する可能性がある⁵⁾。

6. まとめおよび今後の課題

(1) まとめ

都市施設の熱負荷の比較において、年間電力消費量を計算した。より実測値に近い値を算定するため、消費電力量を月々求め年間電力消費量とした。このために、温度が前の月に依存する状態から、夏の熱残留や冬季の熱放出がみられ、逆に消費電力が多くなる結果となった。実際には継続して施設利用するほうが既往の研究に比べ有利になった³⁾。

地上施設と地下施設で想定しているコンテナサーバーの断熱性能は地上・地下施設同一として年間冷房負荷を算出したため、冷房負荷は設置された空間の温湿度の状態に依存する。

(2) 今後の課題

都市施設に関して、施設稼働 50 年の温度分布は、温度の影響が境界面付近まで及ぶ結果となった。よって、境界部周辺の温度は境界条件による影響が顕著になると考えられるため、長期間の解析を行う際は、解析領域をさらに拡大した条件で解析を行うことが望ましい。しかし今回の解析は既往研究に比べより細部の再現を試みたため、解析時間が膨大になった。そのため PC への負荷を考慮すると、解析領域を単純に広げることが困難なため、解析条件の再検討が必要とされる。

維持管理面に関して、地下空間の恒温・恒湿という特性によって、土台や補強材に用いられる鉄筋コンクリートなどの腐食進行速度などを考慮する⁵⁾。

・参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 井上達也：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 平成 22 年度宇都宮大学卒業論文 2011.
- 4) 気象庁 地区別月平均気温
<http://www.data.jma.go.jp> (2011/10/29 確認)
- 5) 高橋京：大谷採石地下空間の有効利用と維持管理に関する研究 平成 20 年度宇都宮大学卒業論文 2008.