大谷石の熱交換特性に基づいた採石地下空間の用途に関する検討

宇都宮市役所　正会員　阿部友哉
宇都宮大学大学院　正会員 ○ 清木隆文

1. 研究背景及び目的

近年，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．この理由として，都市部の土地不足や CO_2削減をはじめとした環境負荷の低減が求められていることがあげられる．そこで，地下空間の特性を利用することで施設の建設や維持に要する環境負荷を低減することができる．既存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．

栃木県宇都宮市大谷地区では、古くから建築資材として広く使われてきた大谷石の採石が盛んに行われてきた．しかしながら，ほとんどの採石跡地下空間は放置され，荒廃の一途をたどっている．これらの採石跡地は貴重な空間資源であり，地下空間の特性をうまく利用することで，地上施設よりも環境負荷を低減可能であると考えられる．そこで，本研究では，環境負荷に影響を与える熱特性に着目し，大谷石採石地下空間での熱交換特性を推定する．さらに，採石地下空間を地下施設としての有効利用の可能性を供用時の熱の広がりをもとに，比較的長期的な視点から検討をすすめることを目的とする．

2. 大谷地域と対象とした採石地下空間の概要

大谷地域は，宇都宮市の中心から北西約 7km に位置している．大谷石採石地下空間は，太平洋戦争時，米軍爆撃を避けるために，中島飛行機(現　富士重工)地下工場として利用された[1]．現在では，ハム製造工場や食糧，飲料の貯蔵施設などとして利用されている．地下空間の有効利用を検討するにあたり，現在も採石を行っている大谷地域の採石地下空間をモデルとして設定した．

3. 地下空間有効利用の検討

本研究で有効利用の検討した施設は，生産施設(精密加工工場)と貯蔵施設(倉庫)である．

なお，地上・地下施設の建設面積，容積，建設材料は同様とするが，生産施設では地上施設は 2 階建て，地下施設では坑道の高さに限界があることから，1 階建てとする．また，貯蔵施設の場合，地下施設では大谷石壁体を構造躯体として利用するものとする．

4. 大谷石壁面の模型実験

大谷石で簡単な模型を作成し，加熱実験を行った．ヒーターによって，24 時間程度の加熱を行い，その間の消費電力をワットチェッカーで消費電力を測定し，同時に温度計で内部の温度変化を記録する．定常状態の消費電力から実験値を求め，内部の温度変化から伝熱負荷を求め，これを計算値として両者の比較を行った．実験の結果，実験値 28.477 kJ/h，計算値 31.517 kJ/h となった．実験値に対する計算値の相対誤差は 10.67%となり，計算値と実際の負荷の整合性を確認することを試みたが，誤差が出てしまった．この原因としては，大谷石の熱伝導率を実際よりも大きく見積もっていること，模型内では鉛直方向に温度が一様ではなく，正確には、模型内温度の設定に計算値と差があることがあげられる．この結果から，負荷計算は，実際の構造に比べて，若干大きな値となると考えられる．

5. 大谷石壁面の模型実験，精密加工工場の熱流解析

(1) 熱流解析について

本研究では， FLAC3D(Itasca 社製)の熱流解析オプションを用いて，大谷石壁面の模型実験および大谷石採石地下空間をモデル化して，熱環境を再現した．

(2) 実験模型の解析

解析モデルを**図－1** に示す．模型内空気の温度を，実験結果から得られた 32.9℃に固定し，最も外側にある空気の面を 21.3℃に固定した．また，解析モデル全体の初期温度は 21.3℃とした．この条件で定常となるまで熱流解析を行い，模型外壁の温度を，実験で得られた外壁の温度と比較する．解析の結果，実験値 23.8℃に対し，解析結果 22.7℃となった．解析結果の温度が実験値よりも小さい傾向を示した．誤差の要因としては，解析に用いた物性値が実際と異なっている可能性があること，実験中温度は細かく変化し，完全に定常状態ではなかったことなどが考えられる．しかし，本研究で行った解析モデルは．簡易実験の温度分布を定常熱伝導の範囲でよく表している．

(3) 精密加工工場の解析

採石地下空間の熱交換特性を推定するために，地下空間に施設(精密加工工場)を建設した場合の温度分布の確認を行う．本研究では，夏季と冬季に分けて，施設と地下空間の温度条件を設定し，解析を実施した．解析モデルを**図－2** に示す．各要素は 1m 四方の立方体で，解析領域は縦 93m，横 94m，高さ 53m である．中に存在する施設に単位体積当たりの熱量を与え，解析モデルの初期温度を 13℃とし，解析領域外面は，境界条件として初期温度 13℃に固定した．以上の条件で 1

キーワード　大谷石，採石地下空間，熱交換特性，環境負荷
連絡先　〒321-8585　宇都宮市陽東 7-1-2　宇都宮大学大学院工学研究科　地球環境デザイン学専攻
TEL　028-689-6216

年後の温度分布(図－3)を求めた．施設周囲の気温と熱が伝わっている厚さを解析結果から読み取り，精密加工工場の負荷計算に用いた．

6. 地下空間の有効利用に関する考察

解析から得られた値を用いて負荷計算を行い，地上施設と地下施設の比較を行った．図－4，図－5に精密加工工場の年間電力消費量と建設コストを示す．

年間電力消費量は，地下施設にのみある昇降設備の運用による電力消費量を考慮したため，地下施設の電力消費量が地上施設を上回る結果となった．地下施設の年間電力消費量の大部分は昇降設備の運用が占めている．建設コストに関しては，地上施設よりも地下施設の建設コストが高い結果となった．この理由は，地下施設は1階建てとしたため，その分，屋根と外壁面積が大きくなったこと，地下施設には昇降設備を建設するので，昇降設備の建設コストが加算されたことがあげられる．

7. まとめ

FLAC3Dによる熱流解析をもとに，大谷採石地下空間の熱交換特性を推定し，地上・地下施設の負荷計算を行い，採石地下空間の有効利用の可能性を検討した．

精密加工工場の熱流解析では，地下空間全体では，1年間で大谷石の壁面に熱が伝達する範囲は，夏季では壁面表面から約6m，冬季においては約4mとなった．

精密加工工場の負荷計算は，電力消費量，建設コストともに，わずかに地下施設が不利となった．これは，昇降設備の電力消費量と建設コストが加算されたことがあげられる．この結果より，精密加工工場として地下空間を利用することはメリットがあるとは言い切れない．一方，同様の検討を倉庫施設に対して実施した結果，貯蔵温度の低い品目の貯蔵で大谷石採石地下空間の利用が地上に比べて有利となる結果を得た．

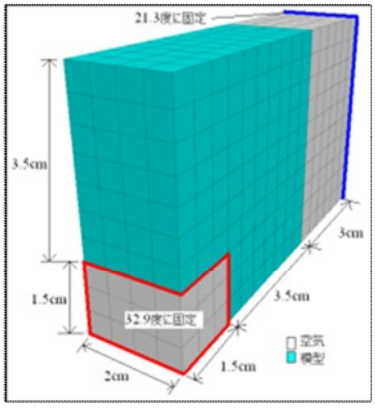
8. 今後の課題

精密加工工場の負荷計算では，昇降設備による電力消費量が占める割合が大きいため，地下施設が不利となった．そのため，昇降設備などの電力消費量について改善を試みる必要がある．

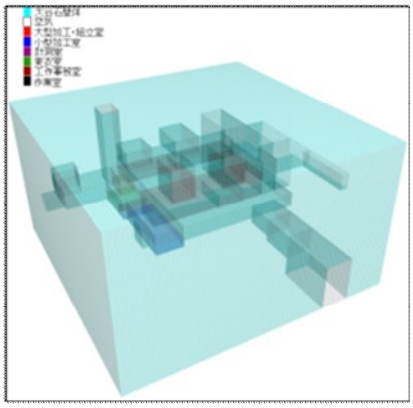
謝辞：本研究は，財団法人 鹿島学術振興財団および社団法人 関東建設弘済会の研究助成によって行われた。記して謝意を表する．

参考文献

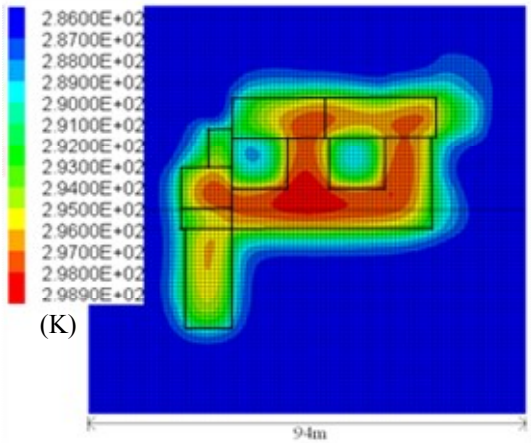
1) 館野康雄：大谷石の歴史と巨大地下空間，大谷資料館， http://www.oya909.co.jp/ museum/index.html
2) 高橋 京，清木隆文：大谷採石地下空間の有効利用と維持管理に関する研究,地下空間シンポジウム論文・報告集， 第 15 巻， 土木学会 [一般投稿論文], pp.71-78, 2010.
3) 岡建雄：わかりやすい グリーンオフィスの設計 オーム社出版，2000.
4) 建設工業経営研究会：建築工事原価分析情報，大成出版社，1997.



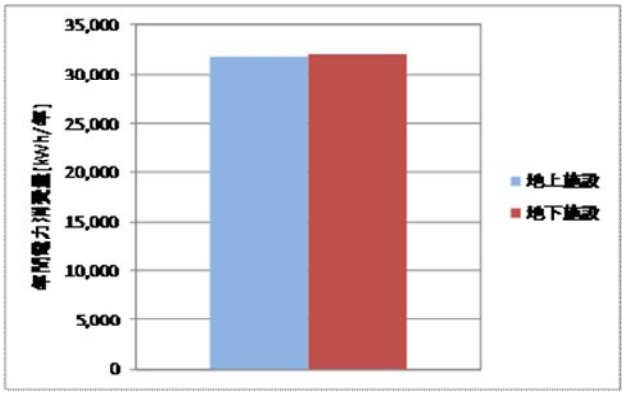
図－1 模型解析モデル



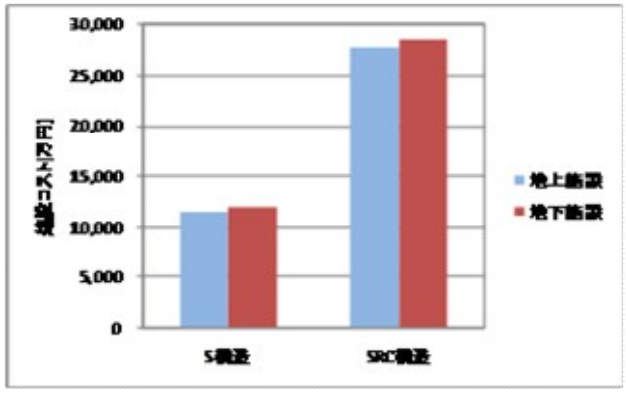
図－2 工場モデル俯瞰図



図－3 精密加工工場周辺の温度分布(平面図)



図－4 年間電力消費量



図－5 建設コスト