環境負荷に基づいた大谷石採石地下空間の再生用途の検討

JR 東日本　　正会員　　舟山　雅史
宇都宮大学大学院　　正会員　○清木　隆文

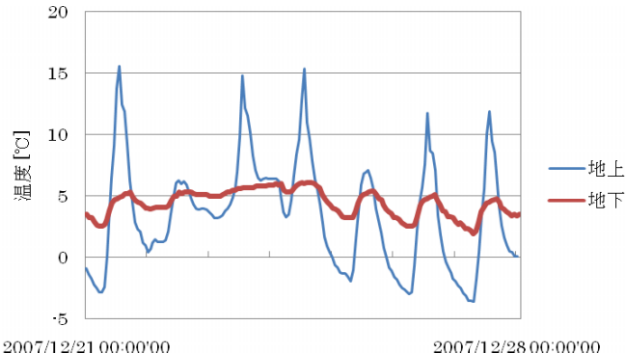
1．はじめに

わが国では，石材が古くから主に建築材料（石壁，石塀，門柱，コンクリートの骨材）として広く用いられてきた．しかしながら，採石跡地については積極的な利用の事例はまだまだ少なく，採石終了後は，ほとんどの採石跡地が放置され，荒廃するに任されている．これら採石地下空間は地下空間の特性を活かした再利用を行うことで，有効な空間資源となりうる．これまでに，栃木県宇都宮市大谷地区の採石地下空間において，地下空間が持つ恒温，恒湿性を活かしつつ，地下倉庫施設として利用することで，地上施設よりも有利であることが確認されている [1)]．そこで，本研究では宇都宮市大谷地域を対象に，これら採石地下空間を有効利用するにあたり，複数の用途を想定し，それぞれ地上施設と環境負荷を中心とした定量的な評価を行い，用途による地下空間利用のメリット・デメリットを検討した．

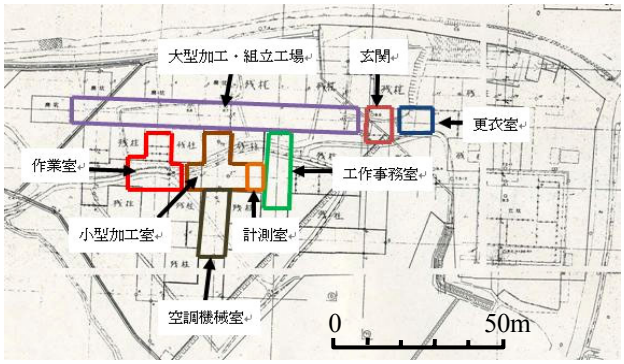
2. 研究概要

2.1　施設の用途による分類と対象地下空間

本研究では，まず，すべての施設を不特定多数の人が利用する施設と特定の人が利用する施設に大別し，有効利用の現実の可能性が比較的高いと思われる，特定の人が利用する施設のみを対象とした．次に，対象となる施設を，生産施設，貯蔵施設，研究実験施設，都市施設，生活施設の 5 つの用途に分類した．このうち，研究の目的に合わない生活施設を除く 4 つの用途について具体的な施設の例を挙げながら，主に施設運用の環境負荷と建設コストに着目して，地下空間を利用する有効性を検討する．有効利用の検討を行う地下空間として，大谷地域内で現在大谷石を採石中の 2 つの地下空間を対象とした．現地調査の結果（**図－1**），対象地下空間 A は残柱方式の空洞で，比較的大規模であり，立坑の断面が大きく，温度は夏季 13℃，冬季 3℃である．対象地下空間 B も同じく残柱方式の空洞で，一般的な規模の地下空間および立坑断面を持ち，夏季 13℃，冬季 11℃である．また，対象地下空間の湿度は一年を通して 90%以上の高湿であるため，環境負荷算出時には 100%とし，地上（宇都宮）の外気条件 [2)]は夏季（温度 33℃，絶対湿度 19.8g/kg），冬季（温度－3.1℃，絶対湿度 1.6g/kg）とした．



図－1　対象地下空間の温度変化



図－2　精密加工工場の設置例の平面図
（対象地下空間 A）

2.2　躯体を伴う施設

(1) 生産施設

生産施設では，とくに温度，湿度管理の厳しい精密加工工場（地上のみ一部 2 階建）の建設を想定した（**図－2**）．工場の規模は採算性を考慮するために文献調査を行い，対象地下空間に建設可能な規模として延床面積 2,000m^2，工場の稼働時間は 8:00～20:00（12 時間）とした．工場内の温度は，部屋や季節により異なるがおよそ 18～27℃の範囲，また，湿度は工場内すべて 50%以下と設定した．

精密加工工場の運用負荷は，1 年中温度が安定している対象地下空間 B において，夏季，冬季ともに地上よりも有利である(**図－3**)．また，建設コストは，地上，地下に同規模の工場を建設するため，地下施設は昇降設備の分不利となる．20 人乗りの昇降設備を 1 台建設する際の

キーワード　大谷石，採石地下空間，地下空間の用途，環境負荷，建設コスト
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

表－1　採石地下空間の用途別検討結果一覧

	生産施設 (精密加工工場)	実験研究施設 (人工気象室)	貯蔵施設 (倉庫)	都市施設 (データセンター)
対象地下空間 A	△*1	○	○	△
対象地下空間 B	○*2	○	△	△

＊1：検討の結果，地上施設と地下施設のどちらが有利とは言い切れない用途.
＊2：検討の結果，地下を利用するメリットがある用途.

コストは，工場の建設コストの約 20%に相当する．また，冷却除湿および除湿後の加熱に要する負荷を算出したところ，地下施設は，暖房による除湿により負荷を低減することができ，地下空間における恒湿性は不利にはならない.

(2) 研究・実験施設

研究・実験施設では，急激な温度変化を伴う人工気象室の建設を想定した．人工気象室は，a 室～d 室で構成されており，それぞれ-5℃～35℃の間で制御する温度が設定されている．人工気象室は，温度変化を伴うため，定常熱負荷以外に，非定常熱負荷も考慮した．その結果，定常負荷，非定常負荷ともに地下施設が有利であり，地下空間を研究・実験施設として利用するメリットが確認できた.

(3) 貯蔵施設

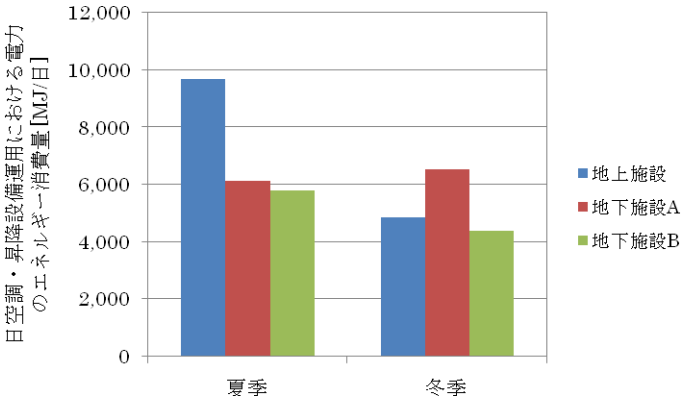
本研究では，貯蔵施設において，とくに食料貯蔵の倉庫施設を建設することを想定した．地下施設の壁面は，大谷石の壁体を利用するものとし，貯蔵する食料が必要とする貯蔵温度により，主に－18℃以下で冷凍貯蔵するものをグループ（ⅰ），平均温度 0℃程度で貯蔵するものをグループ（ⅱ），主に 10℃以上で貯蔵するものをグループ（ⅲ）に分類し検討した．グループ（ⅲ），グレープフルーツ（柑橘類）の貯蔵では，同規模の地上施設に比べて，地下施設 A は 67%，地下施設 B は 95%に抑えられる結果となった．これは，対象地下空間 A がより低温なので，地下施設 B よりもグレープフルーツ（柑橘類）の貯蔵に適しているためであり，地下空間の温度湿度環境により，貯蔵に適するものに違いがある.

2.2 躯体を伴わない施設　　－都市施設－

躯体を伴わない施設は，都市施設を対象とし，具体例として，コンテナ内にサーバーが収容されているパッケージのデータセンターについて，施設運用の環境負荷による検討を行った. データセンター内の環境は温度 24℃，湿度 50%が目安とされている．データセンターに用いるコンテの大きさは，20 フィートコンテナと 12 フィートコンテナの 2 種類を想定し，施設運用の環境負荷を算出したところ，地上施設の約 80%に抑えられた.

2.3 地下倉庫を用いた除湿の実験

本研究では，対象地下空間 B において，大谷石造りの地下倉庫を模擬的な地下空間に見立てて，除湿機による除湿の実験とヒーターの加熱に伴う減湿の実験を行った．ヒーターの過熱に伴う減湿の実験においては，ヒーターを 24 時間稼働し，温度が 12.9℃から 18.8 度，湿度が 80%から 61%へ変化した．このときの，測定された負荷と，躯体の寸法および材料から算出した負荷（計算値）を比較すると，計算値が 1.5 倍から～1.7 倍大きな値を示した.



図－3　精密加工工場の施設運用における日エネルギー消費量

3. まとめおよび今後の課題

本研究では，宇都宮市大谷地域の採石地下空間を対象に 4 種類の用途を検討し，建設費，環境負荷を基準に地下と同様な設備を地上に建設した場合と比較した．この結果，地下空間が有する恒温，恒湿特性を活かすことによって，各用途とも運用負荷において，地下空間の利用が有利であることが確認できた（**表－1**）.

本研究では，採石地下空間の有効利用の可能性を評価するにあたり，種々の算出条件を設定し，とくに影響の大きいと思われる項目のみを扱った．今後は，算出条件や評価項目に改善すべき個所はないか，更なる検討が必要である．また，採石地下空間の有効利用のためには，安全面，防災面など，多様な視点から検討を行う必要がある.

参考文献：1) 柴田正史ら：地上施設との比較に基づく大谷採石地下空間の環境負荷に関する研究，地下空間シンポジウム論文･報告集, 第 13 巻, 土木学会 (審査付論文), pp.13-22，2008．2) 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.