

## 採石地下空間の用途別の有効性評価に関する研究

宇都宮大学 学生会員 ○舟山 雅史  
宇都宮大学 正会員 清木 隆文

## 1. 研究目的

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少数が観光用に利用されているのを除けば、積極的な利用の事例はまだまだ少ないのが現状である。採石終了後は、ほとんどの採石跡地が放置され、雨水などが溜まり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<sup>1)</sup>。そこで、本研究では宇都宮市大谷地区を対象に、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・デメリットを検討することを目的とする。

## 2. 研究内容

想定した複数の用途について、環境負荷を中心とした定量的な評価を行う。本研究で検討する用途の選定は次のような手順で行った。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た。不特定多数の人が利用する施設を建設しようとする、拘束条件が多くなり実現が困難である。そのことを考慮し、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<sup>2)</sup>。このうち、生活施設は、主に個人利用の地下室などで本研究の目的に合わないので検討しない。したがって、4つの用途について具体的な施設の例を挙げながら、地下空間の有効利用を検討する。

本研究で有効利用の検討を行う地下空間として、大谷地区内にある現在採石中の2つの地下空間を設定する。現地調査の結果、対象地下空間Aは残柱方式の空洞で、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、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<sup>2)</sup>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。

## 2.1 躯体を伴う施設

## (1) 生産施設

生産施設の具体例として精密加工工場（地上のみ一部2階建）の建設を想定する。工場の規模は採算性を考慮するために文献調査<sup>3)</sup>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<sup>2</sup>、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。

精密加工工場の日冷暖房負荷は、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

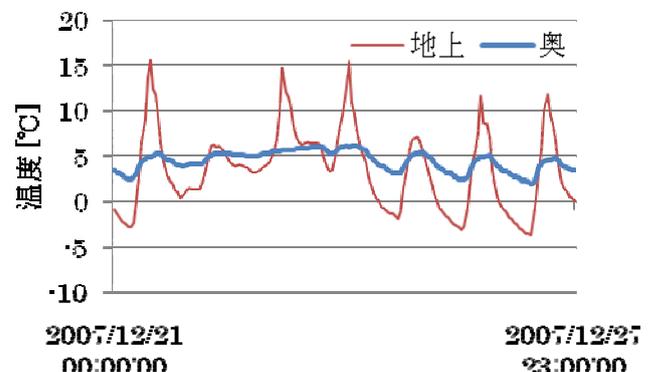


図-1 対象地下空間Aの温度変化

よりも有利であることがわかった (図-5)。また、建設によるCO<sub>2</sub>排出量は、地上・地下に同規模の工場を建設するため、地上・地下のCO<sub>2</sub>排出量は同値である (表-1)。一方で、地下のみ昇降設備が必要となる。20人乗りの昇降設備を1台建設する際のCO<sub>2</sub>排出量は84,703[kg-CO<sub>2</sub>]で、工場建設によるCO<sub>2</sub>排出量のおよそ10%に相当する。

精密加工工場は、正確な湿度の管理が必要である。そこで、冷却除湿および除湿後の加熱に要する負荷を図-3に示す。地下は、暖房による除湿が可能のため、負荷を低減することができる。

(2) 研究・実験施設

研究・実験施設の具体例として、人工気象室について施設運用時の環境負荷による検討を行う<sup>6)</sup>。本研究で検討する人工気象室は、a室、b室、c室、d室から構成されている。a室は縦19.5m×横7.6m×高さ4mで、温度の制御は15~35℃、b室は縦7.5m×横7.6m×高さ4mで、温度の制御は15~35℃、c室は縦7.5m×横7.6m×高さ4mで、温度の制御は-5~+25℃、d室は縦7.5m×横7m×高さ3.5mで、温度制御は15~25℃である。また、湿度の制御範囲は全室で30~80%である。環境負荷の算出にあたっては、地上施設と地下施設Aおよび地下施設Bの施設は同規模で、外気条件の違いのみ反映させるものとし、a~d室の負荷の合計を人工気象室全体の負荷としている。人工気象室は、過去の気象条件あるいは特定地域の過酷な環境条件を人工的に再現するため、温度・湿度の制御範囲が広く、とくに温度変化はプログラム制御することが多いため、定常熱負荷以外に非定常熱負荷も考慮する必要がある。定常負荷および非定常負荷を比較すると、すべての条件において非定常負荷が定常負荷を上回った。これを踏まえ、非定常負荷を用いて地上・地下施設を比較すると、夏季、冬季とも地下がわずかに有利な結果となった (図-7)。

表-1 工場の建設に伴うCO<sub>2</sub>排出量<sup>4) 5)</sup>

躯体工事	[kg-CO <sub>2</sub> ]
型枠	14,440
コンクリート	414,317
鉄筋	152,473
鉄骨	176,127
屋根・外壁・内壁・天井工事	[kg-CO <sub>2</sub> ]
屋根(外部仕上げ モルタル仕上)	7,399
屋根(断熱材 100mm)	31,709
屋根(天井 塗装)	1,585
屋根(防水 アスファルト防水)	42,278
外壁(外部仕上げ モルタル仕上)	6,468
外壁(断熱材 100mm)	27,719
内壁(プラスターボード+塗装)	8,316
合計	882, 830

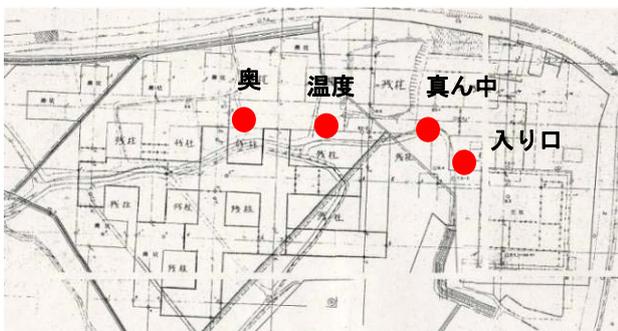


図-2 温室度計測箇所 (対象地下空間 A)

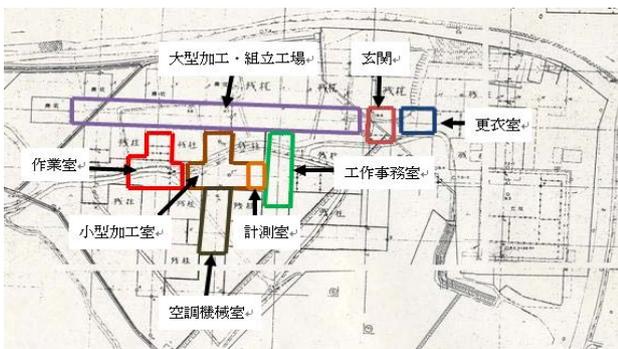


図-3 精密加工工場 (対象地下空間 A)

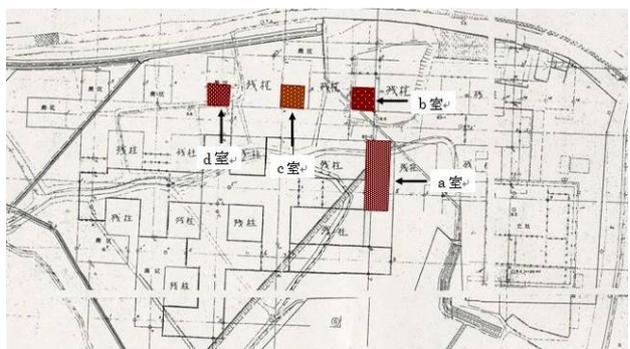


図-4 人工気象室 (対象地下空間 A)

地下施設が最も有利となったのは、冬季の地下施設Bで、地上施設Bの非定常負荷の約85%に抑えることができる。

(3) 貯蔵施設

貯蔵施設的具体例として、倉庫施設を地下空間内に建設することを想定し、同規模の地上倉庫との比較を行う。倉庫は、対象地下空間Aを利用する地下施設A（縦39.4m×横75m×高さ18m）と対象地下空間Bを利用する地下施設B（縦34m×横52m×高さ7m）の2種類で、地下倉庫の壁面は大谷石壁体を利用するものとする。ここでは、貯蔵するものを食糧に限定し、貯蔵温度によりグループi～iiiの3種類に分類し比較を行う。グループiは主に-18℃以下で冷凍貯蔵するもので、そのモデルとして魚（冷凍）（i）について検討する。グループiiは平均温度0℃程度で貯蔵するもので、そのモデルとしてホウレンソウ（ii）について検討する。グループiiiは主に10℃以上で貯蔵するもので、そのモデルとしてグレープフルーツ（iii）を貯蔵する場合について検討する。

地下施設Aの施設運用（空調、昇降設備）におけるCO<sub>2</sub>排出量は、夏季のグループiiiにおいて地上施設Aの46%まで抑えられ（図-8）、地下の方が有利である。しかし、一方で冬季のグループii、iiiのCO<sub>2</sub>排出量は地下施設Aの方がやや多く、わずかに不利になる。

2.2 躯体を伴わない施設

(1) 都市施設

都市施設的具体例としてデータセンターについて環境負荷による検討を行う、ここで検討するデータセンターは、コンテナ内にサーバーが搭載されているパッケージである。データセンターは、サーバーを格納するため、正確な

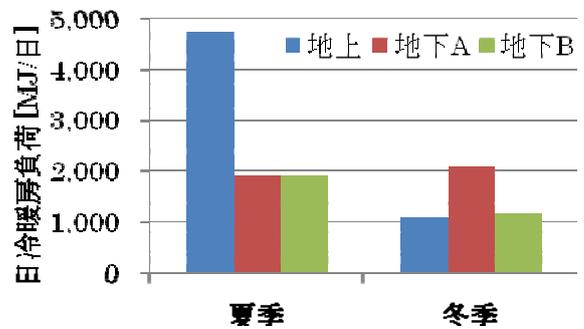


図-5 精密加工工場の日冷暖房負荷

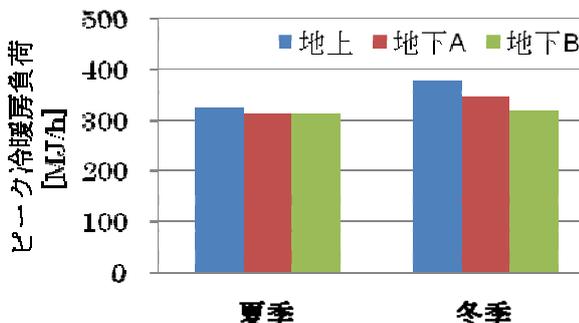


図-7 人工気象室のピーク冷暖房負荷

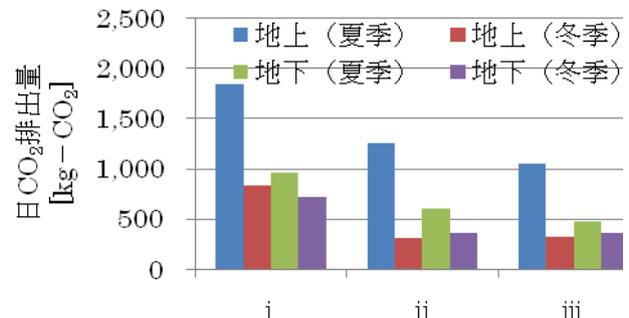


図-8 倉庫A運用によるCO<sub>2</sub>排出量

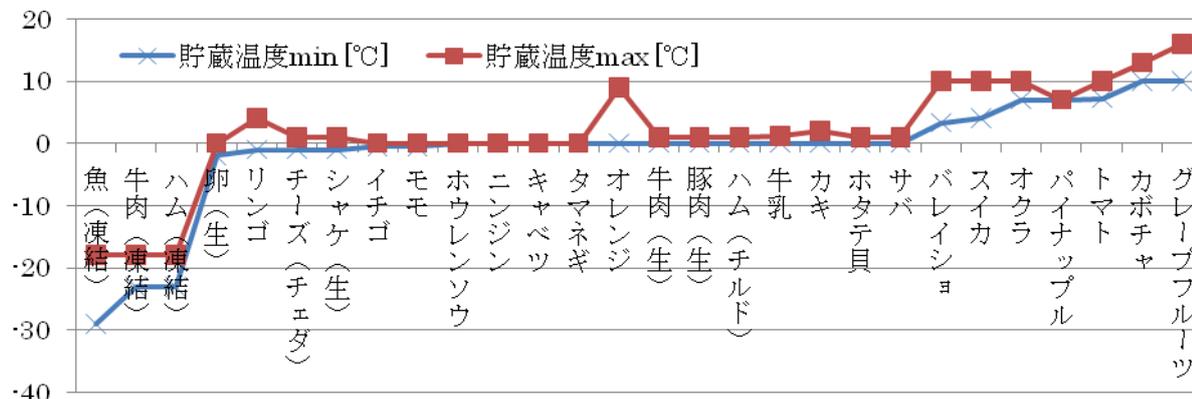


図-9 食品の貯蔵温度<sup>7)</sup>

温度、湿度の管理が必要であり、設定環境は温度 24℃、湿度 50%が目安とされている<sup>8)</sup>。データセンターに用いるコンテナの大きさは、20 フィートコンテナと 12 フィートコンテナの 2 種類を想定した。20 フィートコンテナは海上輸送の国際規格で縦 2.6m×横 2.4m×奥行き 6.0mである。一方、12 フィートコンテナは、国内の鉄道輸送で一般的に用いられており縦 2.6m×横 2.4m奥行き 3.7mである。

データセンターは躯体がないため建設に伴うCO<sub>2</sub>排出はない。しかし、地下の場合、昇降設備やコンテナの搬入があるので、地下に設置する場合は初期コストに注意する必要がある。

### 3. 結論および今後の課題

本研究は、大谷地域の対象地下空間内に各種施設を建設することを想定し、算出した環境負荷や建設に伴うCO<sub>2</sub>を同規模の地上施設と比較し、地下空間利用のメリットを検討した。すべての用途において、地下の持つ恒温、恒湿特性を活かすことにより、施設運用において有利であることが明らかとなった(表-2)。ただし、地下空間ごとに環境条件が異なり、用途ごとに要求も異なるため、空間別、用途別の検討が必要である。さらに、地下空間は深さ数十メートルの立坑を有しているため、地下施設の建設やコンテナの搬入などは容易ではない。これらのことを考慮して地下空間の利用を検討することは、今後、採石地下空間の有効利用を現実近づけるための重要な課題である。

表-2 検討結果の比較

	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)
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。

### 参考文献

- 1) 柴田正史, 清木隆文, 横尾昇剛, 西田幸夫: 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) (財) エンジニアリング振興協会: 地下空間利用に関するテクノロジーアセスメント, 1988.
- 3) 空気調和・衛生学会: 建築設備集成 13 生産施設, オーム社出版, 1991.
- 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.
- 5) 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.
- 6) 空気調和・衛生学会: 建築設備集成 12 研究・実験施設, オーム社出版, 1991.
- 7) 田中芳一, 丸山務, 横山理雄: 食品の低温流通ハンドブック, 株式会社サイエンスフォーラム出版, 2001.
- 8) 井上宇一: 空気調和ハンドブック, 丸善株式会社出版, 1996.