

大谷石採石地下空間における施設の環境負荷および寿命の検討

新菱冷熱工業 正会員 高橋 京
宇都宮大学大学院 正会員 ○ 清木隆文

1. はじめに

栃木県宇都宮市大谷地域では、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。採石後に生まれる採石跡地下空間は、観光用として一般に公開されている大谷資料館のように、再利用されているものはごく一部であり、ほとんどの採石跡地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することが可能である。そこで、本研究では採石地下空間の将来的な有効利用を検討する材料として、大谷地区の採石跡地において有効利用のメリットがあるとされた施設¹⁾に注目し、地上施設との環境負荷量及び施設寿命を比較する。この結果をもとに、ライフサイクルコストを算出し、地下空間利用のメリット・デメリットを検討する。

2. 対象として採石地下空間の概要

本研究では、現在も大谷石の採石を行っている2つの採石地下空間(対象地下空間A, 対象地下空間B)を対象とした。対象地下空間Aは、天盤高さは最大で約30m, 立坑は約20m×20mの四角形断面を有し、深さは横坑まで約60m, 最深部で約90mである。対象地下空間Bの天盤高さは、最大で約25mで、立坑は4.5m×4.5mの矩形断面で、深さは約22mである。環境条件は、対象地下空間Aでは、温度が夏季13℃, 冬季3℃と大きく変化し、湿度は年間を通してほぼ100%である。対象地下空間Bでは、温度が夏季14℃, 冬季11℃と変化が小さく、湿度は年間を通してほぼ100%である。また、対象地下空間A, Bともに年間を通して湧水はほとんど見られない。

3. 採石地下空間における環境実験

採石跡地下空間は1年を通して相対湿度がほぼ100%であり、施設を建設、利用するためには、除湿が必要である。そこで、本研究では対象地下空間B内にある大谷石造りの倉庫を疑似的な地下空間とみなし、除湿機による減湿実験及びヒーターによる加熱実験を行った。対象地下空間B内にある大谷石造りの倉庫の大きさは、横2.0m, 高さ2.0m, 奥行き2.75mである(図-1)。実験は、倉庫内に小型除湿機及びヒーターを設置し、5日間運転させ倉庫内に取り

付けた温湿度計で倉庫内の温度及び湿度変化を自動計測した。その結果、温度、湿度は一定値となり実験前に比べて、減湿実験では湿度は約40%, 加熱実験では約25%の減湿となった。温度については減湿実験で約3.6℃, 加熱実験で約7.3℃上昇した。また、これらの結果をもとに、倉庫内における加熱実験によるエネルギー消費量と、熱の出入りを考慮した伝熱負荷計算の比較をした。温度を定常と見なした定常負荷計算と、温度変化の著しい部分について非定常負荷計算で、負荷値を算出した結果、計算値が実験値の1.5倍から1.7倍大きい値を示した。これは、負荷計算の値が安全側の値を示すことを意味する。

4. 環境負荷計算に基づく地下空間利用の検討

地下空間の有効利用を検討するにあたって、施設供用時の負荷計算と施設建設に伴う負荷計算から、地上と地下とのCO₂排出量の比較を行った。対象と



図-1 対象地下空間B内の倉庫

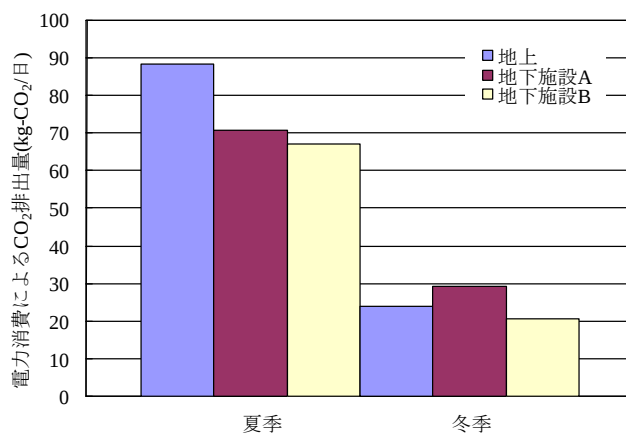


図-2 施設運営、建設に伴うCO₂排出量

キーワード 大谷石, 採石地下空間, 施設寿命, 環境負荷, 建設負荷

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

する施設は、地下空間の有効利用にメリットがある研究実験施設とした¹⁾。本報文では、特に温度変化が急激で設定条件が厳しい恒温恒湿室の結果について述べる。対象施設において、地上及び対象地下空間 A, 対象地下空間 B に同規模の施設(以下、地下施設 A, B)を建設するとして、日運営負荷を算出した。夏季、冬季の運営負荷値は、地下施設 A, B とともに地上の同様施設よりも負荷が低い結果となった。また、施設建設に伴う CO₂ 排出量を比較した結果、採石跡地下空間では、人や物の出入りに昇降設備を設置するため、その分だけ地下施設の負荷値が地上施設の負荷値に比べて大きい結果となった。これらを総合して、施設運営、建設による夏季、冬季一日あたりの CO₂ 排出量を算出した結果を図-2 に示す。地下施設 B では、地上施設に比べて、夏季の負荷が約 25%低減された。ここで、地下施設 A に比べて地下施設 B で負荷が低いのは、年間の温度変化が小さいことなど、空洞部が浅いためである。また、冬季は、空洞内の気温が低いため、地下施設利用は有利ではない。

5. 構造物の寿命管理

構造物の寿命を延ばすためには、維持補修などの検討が必要である。本研究では構造物の部材の寿命を推定し、地上と採石地下空間での比較を行った。

(1) 部材劣化のモデル化

構造部材の耐久性を推定するために、鉄筋コンクリート中の鉄筋の腐食確率による寿命評価を試みた。鉄筋の腐食確率は、既存建築物における中性化深さおよび鉄筋腐食の実態調査結果に基づいて、定式化された(1)式を用いて算出した²⁾。腐食確率 P を算出するための中性化深さとかぶり厚さの分布は、嵩ら³⁾の調査結果を用いた。また、中性化深さの平均値 $\bar{C}_t$ は $\bar{C}_t = \alpha\beta\gamma\sqrt{t}$ ⁴⁾ で表した。ここに、係数 α (環境条件による係数)、 β (仕上材による係数)、 γ (コンクリートの品質係数)であり、文献⁵⁾をもとに、 $\alpha=1.5, 1.3, 1.1, 1.0$, $\beta=1.0$, $\gamma=0.37, 0.28, 0.20$ とした。

(2) 構造物の寿命の検討

和泉⁴⁾は、耐用年数を考える鉄筋の腐食確率の設定値を提案しており、恒温恒湿室の利用目的から、設計耐用年数を 50 年とした。(1)式より、鉄筋の腐食確率から寿命を算出した結果、地上施設の $\gamma=0.37$, $\alpha=1.5, 1.3$ の場合で、寿命が設計耐用年数に達しなかった。上記の場合について、建設時にかぶり厚さを大きくする補強を行ったところ、地上施設は地下施設に比べて、建設時の負荷が約 1%から 12%増加したが、地上施設は地下施設に比べて、構造物の寿命は短い、構造物の補強に伴う負荷値の増加分は、運営負荷に比べて小さい結果となった。

$$P = \int_{-\infty}^a f(D - C_t) d(D - C_t) \cdot \dots \cdot (1)$$

$$f(D - C_t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot (\bar{C}_t^2 \cdot v^2 + \sigma^2)}} \exp \left(-\frac{((D - C_t) - (\bar{D} - \bar{C}_t))^2}{2(\bar{C}_t^2 \cdot v^2 + \sigma^2)} \right)$$

屋外: $a = 0\text{mm}$, 屋内: $a = -20\text{mm}$

中性化深さの分布: 正規分布 $N(\bar{C}_t, \bar{C}_t^2 \cdot v^2)$

かぶり厚さの分布: 正規分布 $N(D, \sigma^2)$

かぶり厚さと中性化深さの差の分布

: 正規分布 $N(D - \bar{C}_t, \bar{C}_t^2 \cdot v^2 + \sigma^2)$

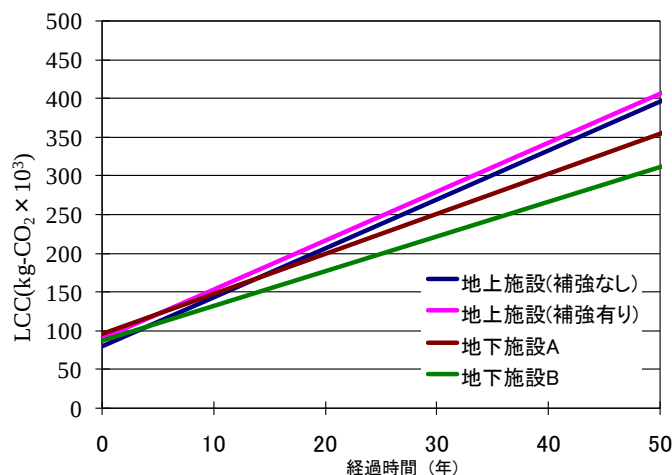


図-3 ライフサイクルコストによる比較

6. まとめと今後の課題

施設の運営、建設及び補強を考慮した建設負荷をライフサイクルコストとして、算出した結果を示す(図-3)。設計耐用年数の 50 年の環境負荷値から見ると、地下施設は地上施設に比べて、最大で約 24%削減できる可能性がある。また、施設を長期的に供用する場合、環境負荷は、地下空間の恒温性を活かすことで、メリットがある結果となった。今後、地上施設と地下施設を幅広い視点から評価するための項目の検討を行うとともに、実験値の再現のために、算出条件の検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 舟山雅史, 清木隆文, 西田幸夫, 西淳二: 大谷採石地下空間の環境負荷に基づいた再生用途に関する検討, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第 14 巻, 土木学会, pp.1-10, 2008.
- 2) 和泉意登志, 嵩英雄, 池田美和, 浅井達也, 押田文雄, 川畑茂男: 既存 RC 構造物におけるコンクリートの中性化と鉄筋腐食について(その 1~その 3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.201-206, 1985.
- 3) 嵩英雄: 経年 RC 構造物におけるコンクリートの中性化と鉄筋の腐食, コンクリート工学年次講演会論文集, pp.181-184, 1984.
- 4) 和泉意登志: コンクリート構造物の耐久性シリーズ, 中性化, 技報堂出版, 1986.
- 5) 土木学会: コンクリート標準示方書 設計編, <2007 年制定>, 2008.