

維持管理を考慮した大谷石採石地下空間の有効利用に関する研究

宇都宮大学 ○ 高橋 京
宇都宮大学大学院 清木 隆文

1. 研究の目的と背景

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。理由としては、都市部の土地不足が挙げられる。また、世界中で地球温暖化が問題となっており、CO₂排出量をはじめとした環境負荷の低減が求められている。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必要な環境負荷量を減らすことを考える。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、採石跡地下空間は観光用として一般に公開されているもの（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と考えられる。そこで、本研究では宇都宮市大谷地区の採石地下空間の将来的な有効利用を検討するに伴い、既応の研究で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⁾に焦点をおき、地上施設との環境負荷量及び維持管理の比較をおこなう。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ことを目的とする。

2. 対象地下空間の概要

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2つの採石地下空間(対象地下空間A, 対象地下空間B)をモデルとして設定する。対象地下空間Aは、天盤高さは最大で約30m、立坑は約20m×20mの矩形断面を有し、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、温度が夏季で13℃、冬季で3℃であり、湿度は年間を通してほぼ100%である。対象地下空間Bでは、温度が夏季で14℃、冬季で11℃であり、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. 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、施設を建設するにあたり、除湿することが必要と考えられる。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にて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-3.1)。実験は、倉庫内に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記録した。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、倉庫内における減湿及び加熱に伴うエネルギー消費量は、実際の消費エネルギーが伝熱負荷計算の計算値の約74~80%となった。このことは、次項で述べる負荷計算の値が実際の値よりも大きく、より安全側の値を示すことになる。

4. 地下空間の有効利用の検討

地下空間の有効利用を検討するにあたって、施設共用時の負荷計算と施設建設に伴う負荷計算から、地上と地下でのCO₂排出量の比較を行う。対象とする施設については、既応の研究¹⁾で有効利用のメリットがあるとされた研究実験施設を対象に行った。特に本研究では恒温恒湿室の結果について述べる。

4.1 施設供用時の負荷計算

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に同じ規模の施設を建設するとして、日運営コストを算出した(図4-1)。冬季の地下空間Bでは地上よりも負荷値が大きいですが、年間を通して考えると、地下空間A, 地下空間Bの施設ともに地上の同様施設よりも負荷が低い。

4.2 施設建設時の負荷計算

施設建設に伴うCO₂排出量を比較した結果を図-4.2に示す。本研究では、SRC構造(鉄筋コンクリート主体の構造)と、S構造(鉄骨主体の構造)を対象とする。採石跡地下空間では、人や物の出入りに昇降設備を設置しなければならないため、その分だけ

キーワード 採石地下空間, 大谷石, 維持管理, 有効利用

連絡先 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科建設工学コース,
岩盤工学研究室

地下施設の負荷値が地上施設の負荷値に比べて大きい。

5. 構造物の維持管理

構造物の寿命を延ばすためには、維持管理について検討する必要がある。そのため、本研究では構造物の部材の耐久性から構造物の寿命を推定し、地上と採石地下空間での比較を行った。

5.1 部材劣化のモデル化

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。鉄筋の腐食確率の算出には、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(5.1)式を用いた²⁾。

$$P = \int_{-\infty}^a f(D - C_i) d(D - C_i) \dots\dots(5.1)$$

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

屋外： $a=0\text{mm}$ ， 屋内： $a=-20\text{mm}$
 ここに、中性化深さ：正規分布 $N(\bar{C}_i, \bar{C}_i^2 \cdot v^2)$
 かぶり厚さ：正規分布 $N(D, \sigma^2)$
 かぶり厚さと中性化深さの差
 : 正規分布 $N(D - \bar{C}_i, \bar{C}_i^2 \cdot v^2 + \sigma^2)$

上記の式で腐食確率 P を算出するために、中性化深さとかぶり厚さの分布を知ることが必要である。そのため、本研究では嵩ら³⁾の調査結果を用いた。また、中性化深さの平均値 \bar{C}_i は $\bar{C}_i = \alpha\beta\gamma\sqrt{t}$ で表した。ここで、係数 α (環境条件による係数)， β (仕上げ材による係数)， γ (コンクリートの品質係数) であり、コンクリート標準示方書を基準として、地上施設では $\alpha=1.5$ ， $\beta=1.0$ ， $\gamma=0.28$ ， 地下施設では $\alpha=1.0$ ， $\beta=1.0$ ， $\gamma=0.28$ とした。以上の条件から、鉄筋の腐食確率 P を求めた(図-5.1)。

5.2 構造物の寿命の評価

和泉⁴⁾は、耐用年数を考える鉄筋の腐食確率の設定値として、構造物の重要性がそれほど大きいということではなければ 30%から 50%以下であると提案している。図-5.1 から腐食確率が 30%に達する年数は、地上で約 53 年、採石地下空間で約 106 年であり、維持管理における補修等の負荷は採石跡地下空間にメリットがあるといえる。

6. まとめと今後の課題

大谷採石跡地下空間で研究実験施設を対象とした場合、供用時の負荷値と構造物の寿命において、有効利用にメリットがあると判断された。今後、鉄筋腐食以外の観点から、部材の耐久性を検討する必要がある。また、施設の全負荷値をもとにライフサイ

クルコストを検討し、有効利用の評価を行うことが今後の課題である。

参考文献

1) 環境負荷に基づいた大谷石採石地下空間の再生用途に関する研究，舟山，清水，第 62 回年次学術講演会講演概要集 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，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



図-3.1 対象地下空間 B 内の倉庫

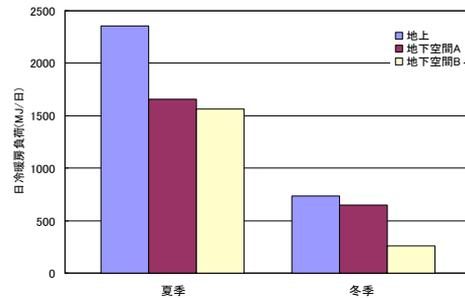


図-4.1 日運営コストの比較

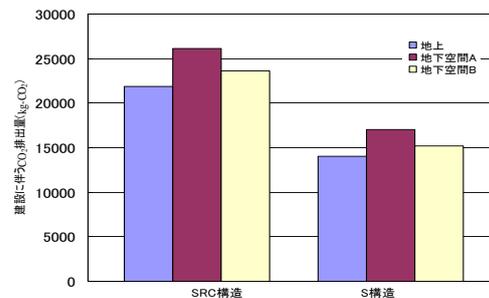


図-4.2 施設建設に伴う CO2 排出量

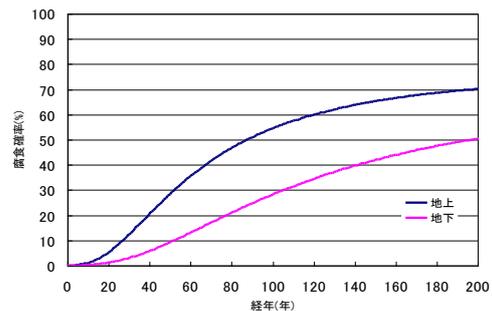


図-5.1 鉄筋の腐食確率の推移