

## 大谷採石地下空間の有効利用と維持管理に関する研究

### STUDY ON EFFECTIVE USE OF OYA UNDERGROUND QUARRIES CONSIDERING TO OPERATION AND MAINTENANCE

高橋 京<sup>1</sup>・清木 隆文<sup>2</sup>  
Kei TAKAHASHI・Takafumi SEIKI

Recently, underground space utilization including especially in the deep underground is paid to attention because of the possibility of a countermeasure of the land shortage. Moreover, it expects to reduce emitting the green house gas, such as CO<sub>2</sub>. This study focused on two underground quarries excavating Oya tuff at the Oya region, Utsunomiya City in Tochigi Prefecture and modeled them for evaluating the advantage of effective use and those maintenance against the above ground facilities on the environmental load in the view point of construction and utilization. The results emphasized that the life cycle cost at underground quarries is superior to that on the above ground however, the maintenance of underground facilities costs slightly higher than the above ground ones.

*Key Words* : underground quarry, Oya tuff, operation and maintenance, effective use

#### 1. はじめに

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．先進諸国が現在の速度で発展を維持すれば，都市部の過密化が進行し，深刻な問題となることは明らかである．また，近年世界中で地球温暖化が進行しており，CO<sub>2</sub>削減をはじめとした環境負荷の低減が求められている<sup>1)</sup>．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し，環境にも配慮することができる．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，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，既往の研究<sup>2)</sup>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に焦点をおき，維持管理の考慮も踏まえて，地上施設との環境負荷量の比較を行った．この結果をもとに，ライフサイクルコストを算出し，施設の長期的な併用を考慮に踏まえて，地下空間の有効利用を検討した．

#### 2. 大谷石の利用と採石の歴史

大谷石利用の歴史は，古墳時代までさかのぼることができ，車塚古墳・兜塚古墳・愛宕塚古墳などの石室には，軟質で加工が容易な大谷石が使用された．明治時代以前，大谷石はほとんどが宇都宮の周辺で消費され，遠方に運ばれるのはわずかであったが，明治時代に入り，東京を始めに関東一円に大谷石が流通していった．1922 年，アメリカの建築家，フランク・ロイド・ライトは旧帝国ホテルの新館増設の際に，大谷石を使用した．

大谷石の採掘方法は，1960 年ごろまでは，ツルハシによる手掘りでの採掘が行われていた．1952 年ごろになる

---

キーワード：採石地下空間，大谷石，維持管理，有効利用

1 正会員 新菱冷熱工業株式会社(元宇都宮大学学生)

2 正会員 准教授 宇都宮大学 大学院工学研究科地球環境デザイン学専攻



図-1 対象地下空間 A の立坑



図-2 対象地下空間 A の坑道



図-3 対象地下空間 B の立坑



図-4 対象地下空間 B の坑道

と、生産向上のための機械化の研究が本格的に始められた。大谷の全採掘場が機械化されたのは、1960 年ごろで、年間生産量は手彫り時代と比べると約 2 倍近く増産された。

### 3. 対象地下空間

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区の 2 つの採石地下空間(対象地下空間 A [図-1, 2], 対象地下空間 B [図-3, 4])をモデルとして設定する。有効利用を検討するにあたって、対象地下空間の現地調査を行った。調査項目としては、対象地下空間の構造、地下水の有無である。なお、対象地下空間の環境条件については、既往の研究で調査を行っているために省略した。

#### (1) 対象地下空間の構造

対象地下空間 A は、天盤高さは最大で約 30 m、立坑は約 20 m×20 m の矩形断面を有し、深さは横坑まで約 60 m、最深部で約 90 m である。対象地下空間 B の天盤高さは、最大で約 25 m で、立坑は 4.5 m×4.5 m の矩形断面で、深さは約 22 m である。また、対象地下空間 A、B とともに年間を通して湧水はほとんど見られないが、地上からの雨水を貯める沈殿池がある。採掘方法は、対象地下空間 A、B とともに残柱方式によって採掘されている。

### 4. 有効利用を検討する施設

#### (1) 施設の選定

本研究では、国内における利用事例のある施設、また今後地下空間における利用が期待される施設を調査した。その後、これらを特定の人の利用が見込まれる施設と、不特定多数の人の利用が見込まれる施設に分類した。ここで、不特定多数の人の利用が見込まれる施設では、地下空間の災害時の避難などの制約を考慮し、検討を行わない。そこで、本研究では特定の人の利用が見込まれる施設<sup>2)</sup>に焦点を絞った。その中でも、既往の研究において、採石地下空間の有効利用に最もメリットがあると判断された研究・実験施設に限定して検討を行った。研究・実験施設の中でも、より設定条件の厳しい施設について検討することで、他の施設との有利不利を判断しやすくなる。そこで、本研究では、特に大きな温度変化を伴う恒温恒湿室の設計を検討した。また、対象地下空間は様々な特性を有

表-1 地上外気条件（宇都宮市）

| 場所・時期<br>項 目    | 地上   |      |      |
|-----------------|------|------|------|
|                 | 夏季   | 冬季   | 春・秋季 |
| 温度 (°C)         | 33.0 | -3.1 | 14.7 |
| 相対湿度 (%)        | 62.2 | 53.5 | 69.3 |
| 絶対湿度 (g/kg)     | 19.8 | 1.6  | 7.4  |
| 比エンタルピー (kJ/kg) | 83.9 | 0.9  | 32.9 |

表-2 室内発熱量<sup>4)</sup>

| 機 器<br>部 屋 | 実験機器 (kJ/h)         | 送風機 (kJ/h)            |
|------------|---------------------|-----------------------|
| 測 定 室      | 2(kW)×3603(kJ/h・kW) |                       |
| 試 験 室      | 5(kW)×3603(kJ/h・kW) | 5.5(kW)×3603(kJ/h・kW) |
| エージングルーム   | 1(kW)×3603(kJ/h・kW) | 2.2(kW)×3603(kJ/h・kW) |
| 可変恒温恒湿室    | 2(kW)×3603(kJ/h・kW) | 3.7(kW)×3603(kJ/h・kW) |

するが、本研究においては、地上との差がより顕著に表れている恒湿性と恒温性について検討した。

## (2) 恒温恒湿室の概要

恒温恒湿室の利用目的は、従来は、最終段階における製品の合格・不合格の判断を行うものであったが、近年では、生産ラインの中に取り入れられ、品質保証及び製品の性能向上などに重要な役割を担っている。恒温恒湿室を室内条件によって大別すると2種類に分けられる。一つは、精密測定室のような設定点を常に一定の温湿度で使用するものと、温湿度の設定点を目的によって任意の異なった温度・湿度に設定し、その設定点において一定の温度・湿度を得るように計画する可変恒温恒湿室である。本研究では、測定室、試験室、エージングルーム、可変恒温恒湿室で構成される恒温恒湿室を検討した。

## (3) 負荷計算による施設の有効利用の検討

地上施設と地下施設の熱負荷計算を行う。本研究では、地上・地下施設の比較を目的としているため、特に影響の大きいと思われる、伝熱負荷、内部負荷、外気負荷のみの定常熱負荷計算である。なお、熱負荷計算に用いる外気条件は表-1に示す。可変恒温恒湿室の場合は、温度及び湿度が時間的に変化するため、熱負荷計算は非定常熱負荷計算を行い、非定常熱負荷・内部負荷を合計した室内合計負荷で評価した。

### a) 伝熱負荷

室内温度と外気温度の差による、壁体の伝熱負荷を算出する。伝熱負荷は、使用する壁体の熱伝達率に比例し、熱通過率  $K(\text{kJ/m}^2\text{h}^\circ\text{C})$  は(1)<sup>3)</sup>式で算出した。

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \cdots + \frac{d_i}{\lambda_i} + \cdots + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_0} \quad \dots \dots \dots (1)$$

$\alpha_i$  : 室内側壁表面での表面熱伝達率 {天井 :  $8 \text{ W/m}^2\text{K}$  ( $=33.52 \text{ kJ/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ ), 壁面 :  $7.1 \text{ W/m}^2\text{K}$  ( $=29.75 \text{ kJ/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ ), 床 :  $5.3 \text{ W/m}^2\text{K}$  ( $=22.21 \text{ kJ/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ )}

$\alpha_0$  : 屋外側壁表面での表面熱伝達率 {天井 :  $20 \text{ W/m}^2\text{K}$  ( $=83.8 \text{ kJ/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ ), 壁面 :  $15 \text{ W/m}^2\text{K}$  ( $=62.85 \text{ kJ/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ )}

$\lambda_i$  : 各層の材料の熱伝達率( $\text{kJ/mh}^\circ\text{C}$ ) ,  $d_i$  : 各層の材料の厚さ(m)

## b) 内部負荷

内部負荷は、照明、人体の各負荷を考慮する。冷房顕熱負荷は照明負荷、人体顕熱負荷の合計とし、冷房潜熱負荷は人体顕熱負荷のみ計上する。また、暖房負荷は冷房負荷の2分の1とするが、全負荷算出時、暖房の場合は有利に働くので安全のため無視した。

## c) 外気負荷

外気負荷は、従業員1人当たりの外気導入量  $20 \text{ m}^3/\text{h}$  人に、各部屋の従業員数を乗じ、熱交換率を顕熱時 0.6、潜熱時 0.35 とした。

## d) ピーク負荷

a)～c)の負荷の合計と、各部屋の室内発熱量の合計値を、冷房は 1.2 倍、暖房は 1.18 倍として計算した。ここで考慮した室内発熱量は以下に示す<sup>4)</sup>。

## e) 日負荷

ピーク負荷に、全負荷相当時間(h/日)と日冷暖房運転時間 (h/日)を乗じ、12 で除することで算出した。12 で除するのは、全負荷相当時間が 12 時間/日で計算されているためである。全負荷相当時間は、宇都宮(地上): 冷房 10.4 h/日、暖房 7.7 h/日、宇都宮(地下): 冷暖房 12.0 h/日で計算した。つまり、地下施設においては、最大負荷計算となる。

## f) 年負荷

全負荷相当時間(h/年)に日冷暖房運転時間 (h/日)を乗じることで算出した。全負荷相当時間は、宇都宮(地上): 冷房 592(h/年)、暖房 418(h/年)で計算した。地下施設も地上と同じ全負荷相当時間を用いた。

## g) 消費電力量

熱負荷計算と同様に地下施設の日電力消費量を算出し、地上施設と比較を行う。空調機器としては、中央式ヒートポンプチラーを空調機器として採用した。日冷暖房電力消費量 (kWh/日)は、日冷暖房負荷(MJ/日)に冷暖房COPと地区修正係数、0.278を乗じることで算出した。冷暖房COP(Coefficient Of Performance)は、ヒートポンプの理論最高効率のことで、中央ヒートポンプチラーにおける冷房COP=2.89、暖房COP=3.53 である。また、地区係数は、地区係数は、宇都宮(地上): 冷房1.00、暖房1.06、地下: 冷房1.09(名古屋)、暖房1.31(旭川)とした。つまり、地下は最大日冷暖房電力消費量計算とした。

## h) 消費電力によるCO<sub>2</sub>排出量

消費電力によるCO<sub>2</sub>排出量は、電力のCO<sub>2</sub> 排出原単位 (kg-CO<sub>2</sub>/kWh)に日冷暖房・昇降設備運用電力消費量 (kWh/日)を乗じることで算出した。ここに、日本における電力のCO<sub>2</sub> 排出原単位は0.39 kg-CO<sub>2</sub>/kWh<sup>5)</sup>である。

## i) 建設コストおよびCO<sub>2</sub>排出量

建設コストは、参考文献<sup>6)</sup>の建設コストをベースにして、床面積あたりの工事原価に、恒温恒湿室の床面積を乗じて計算した。構造の種類は、S (Steel) 構造(主体を鉄骨で建設する構造)とSRC(Steel Reinforced Concrete) 構造(主体を鉄骨鉄筋コンクリートで建設する構造)について検討した。また、延べ床面積当たりの主要資材数量<sup>3)</sup>と個別の資材1単位当たりのCO<sub>2</sub>排出量<sup>5)</sup>を使用して、施設の躯体工事により排出されるCO<sub>2</sub>の量を算出した。また、地下空間の昇降設備の環境負荷は、一般的な建物の数値から立坑の深さに応じて換算した。

## 5. 有効利用の検討結果

前項で示した、施設の運営に伴う負荷量および建設に伴う負荷量を、地上施設と地下施設の場合で比較した。

施設の運営に伴う負荷量は、地下施設Bで、夏季、冬季ともにCO<sub>2</sub>排出量をもっとも低く、地上施設と比較すると、夏季のCO<sub>2</sub>排出量で約25%低減される(図-5)。地下施設Aは、冬季のCO<sub>2</sub>排出量で地上施設よりも大きい。これは、電力消費量と同様に、年間の温度差が大きいこと、横抗までの深さが深いことが影響している。一方で、建設に伴う負荷量は、地上と対象地下空間A、B に同規模の施設を建設することを想定しているため、地下施設

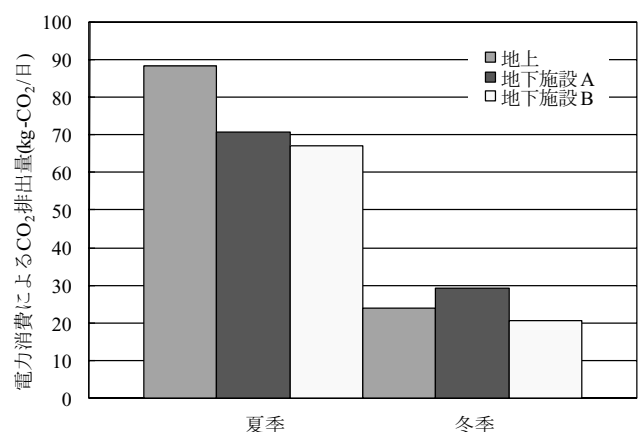


図-5 施設運営、建設に伴う CO<sub>2</sub>排出量

では昇降設備の設置分だけ負荷量が大きい(図-5)。地下空間B は立坑が比較的浅く、その分地下施設A よりも建設コストが抑えられている。

## 6. 対象地下空間における除湿実験

対象地下空間 B 内にある、大谷石造りの倉庫施設(以下、大谷地下倉庫、幅 2.0 m、高さ 2.0 m、奥行き 2.75 m、図-6)を擬似的な地下空間とみなして、除湿機を用いた減湿実験と、ヒーターを用いた加熱実験を行った。実験の目的としては、減湿実験では、恒湿な地下空間での除湿の効果を確認するため、加熱実験では、前項で検討した負荷計算の値が実際の負荷値とどれほどの差があるのかを確かめ、研究をより現実へ近づけることにある。大谷地下倉庫は、3 種類の材質の外壁から構成されており、側壁のうち 3 面が大谷石 20cm 厚+ベニヤ 0.5cm 厚( $K = 7.52 \text{ kJ/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ )、側壁の 1 面と床が大谷石壁体+ベニヤ 0.5cm 厚( $K = 2.28 \text{ kJ/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ )、天井がコンクリート 7cm+ベニヤ 0.5cm 厚( $K = 16.35 \text{ kJ/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ )である。また、大谷地下倉庫にはスチール製のドア( $K = 20.18 \text{ kJ/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ )が 1 箇所設けられている。スチール製のドアの断面積は  $1.44 \text{ m}^2$  である。この大谷地下倉庫内において、5 日間実験を行った結果、減湿実験では湿度が最大で約 44% 相対湿度が低下した(図-7)。加熱実験では、温度が約  $7.9^\circ\text{C}$  上昇した(図-8)。このとき、加熱に伴う消費エネルギー量は  $1206 \text{ kJ/h}$  であった。室内外の熱の出入りによる負荷値を算出するため、伝熱負荷計算を行ったところ、その計算値は  $2033 \text{ kJ/h}$  であり、この値は測定値の約 1.7 倍にあたる。ここで、温度変化が大きい部分(実験開始から 1 時間半までの間)を非定常状態とみなし、非定常負荷計算を行い、残りの部分は温度変化が緩やかだったため、定常負荷計算を行い、その合計負荷量を算出した結果、計算値は  $1802 \text{ kJ/h}$  となり、測定値の約 1.5 倍となった。いずれの場合においても、計算値が測定値よりも大きくなり、本研究で実施した負荷計算の値は、実際の負荷値よりも大きく見積もり、安全側であることを示唆している。

## 7. 維持管理についての検討

施設の供用を長期的に考えると、施設の維持管理に対して検討する必要があると考えられる。本研究において、施設の維持管理を検討するにあたって、施設の劣化を予測しその劣化予測から施設の補修および補強対策を検討する。ここでは、劣化予測手法として、構造材料の劣化度を定量的に評価するものを用いる。構造材料の劣化度を評価するにあたり、本研究においては、構造物において最も需要が高いと思われる鉄筋コンクリート構造物におけるコンクリート中の鉄筋の腐食を確率的に求め、構造物の劣化予測を検討する。

和泉ら<sup>7)</sup>は、鉄筋コンクリート構造物におけるコンクリー



図-6 大谷地下倉庫

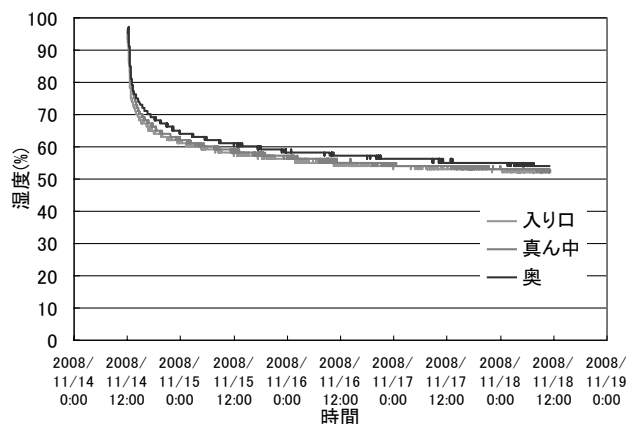


図-7 減湿実験湿度変化

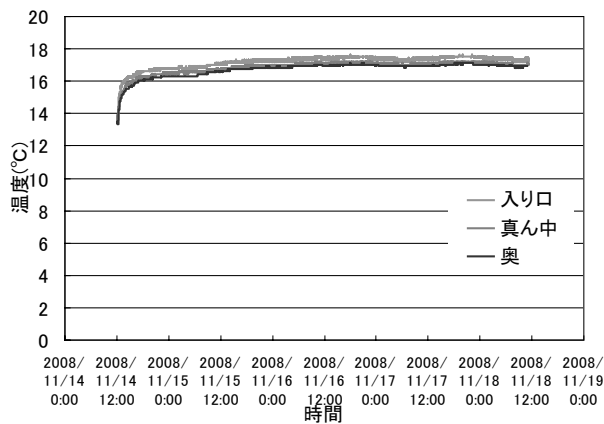


図-8 加熱実験温度変化

トの中性化深さと鉄筋のかぶり厚さのばらつきを統計的に考慮し、構造物の設計耐用年数または鉄筋腐食による構造物の劣化を鉄筋が腐食する確率で定量的に定義した。材令  $t$  における中性化深さの分布  $f(C_t)$  を、平均値が  $\bar{C}_t$  で、標準偏差が  $\bar{C}_t \cdot v$  である正規分布  $N_c(\bar{C}_t, \bar{C}_t \cdot v)$  とし、鉄筋のかぶり厚さの分布  $f(D)$  を、平均値が  $\bar{D}$  で、標準偏差が  $\sigma$  である正規分布  $N_D(\bar{D}, \sigma)$  とする。ここに、 $v$  は変動係数である。鉄筋のかぶり厚さと中性化深さの差の分布  $f(D - C_t)$  は、 $(\bar{D} - \bar{C}_t)$  を平均値とし、 $\sqrt{\bar{C}_t^2 \cdot v^2 + \sigma^2}$  を標準偏差とする正規分布  $N_{D-C}((\bar{D} - \bar{C}_t), \sqrt{\bar{C}_t^2 \cdot v^2 + \sigma^2})$  となり、(2)式で示される。

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

鉄筋の腐食確立  $P$  は、(3)式によって求められる。

$$P = \int_{-\infty}^0 f(D - C_t) d(D - C_t) \dots \dots \dots (3)$$

ここで、中性化深さの平均値  $\bar{C}_t$  は  $\bar{C}_t = \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \sqrt{t}$  で表す)とし、 $\alpha$  は環境条件による係数であり、コンクリート標準示方書<sup>8)</sup>に準じて、 $\alpha$  の値を地下施設では 1.0、地上施設では 1.1, 1.3, 1.5 の 3 つの場合で検討を行う。 $\beta$  は仕上材による抑制係数であり、施設に使用されている仕上げ材は少なく、影響はないと考えられるので、地上施設および地下施設ともに  $\beta = 1.0$  とする。 $\gamma$  はコンクリートの品質係数であり、水セメント比  $x$  の関数とする<sup>9)</sup>として、(4)式で算出する。

$$\gamma = \frac{R(x - 0.25)}{\sqrt{0.3(1.15 + 3x)}} \quad (x \geq 0.6), \quad \gamma = 0.37R(4.6x - 1.76) \quad (x \leq 0.6) \dots \dots \dots (4)$$

水セメント比  $x$  は原則として 65%以下にする<sup>10)</sup>ことから、本研究では、水セメント比  $x$  を 50%, 55%, 60%について検討を行った。セメントの種類としては、最も代表的なセメントとして普通ポルトランドセメントを用いるものとする。なお、中性化深さおよび鉄筋のかぶり厚さのばらつきは、正規分布に従い、参考文献<sup>11)</sup>のデータを用いる。また、構造物の設計耐用年数は、一般的な事務所建築物の耐用年数を基準<sup>12)</sup>にして、50年とし、和泉が提案した耐用年数を考える鉄筋の腐食確率の設定値から、鉄筋の腐食確率が 15%以上となったときの年数を恒温恒湿室の耐用年数(以下、寿命)とする。

## 8. 維持管理における地上施設と地下施設との比較

鉄筋のかぶり厚さが 4.0 cm で、水セメント比が 55%と 50%の場合の鉄筋の腐食確率の経過を図-9, 10に示す。

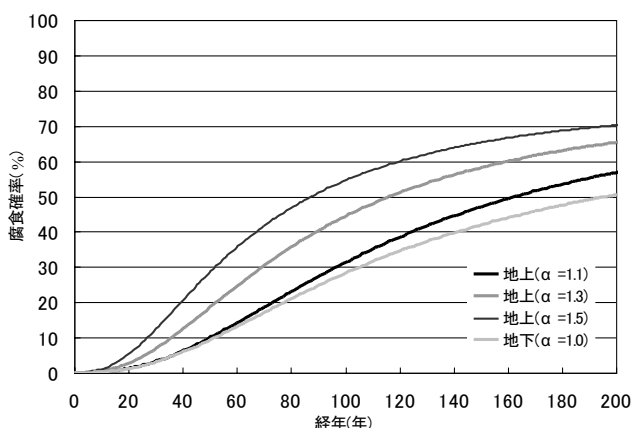


図-9 鉄筋の腐食確率(水セメント比 55%)

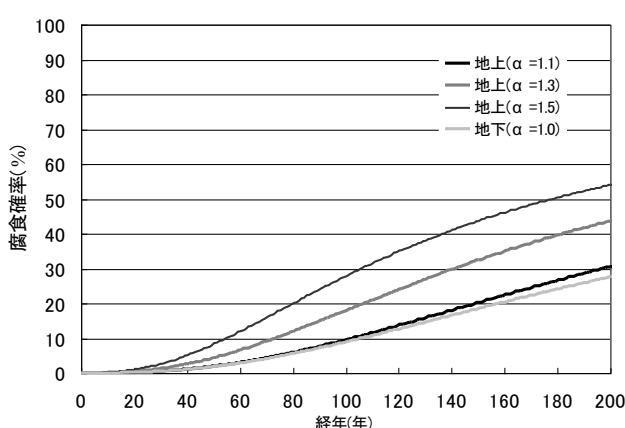


図-10 鉄筋の腐食確率(水セメント比 50%)

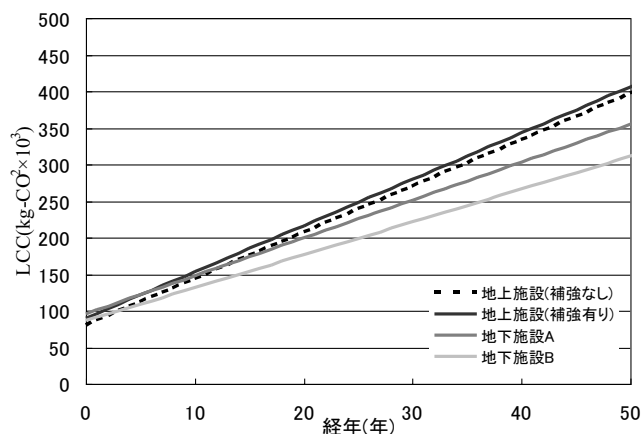


図-11 かぶり厚さ 6.5cm の LCC

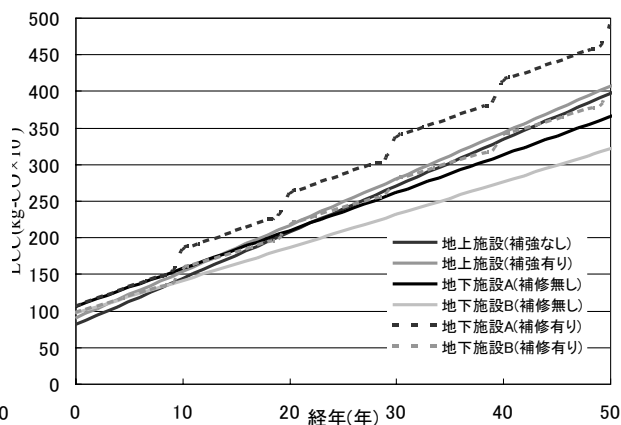


図-12 設備の補修を考慮した LCC

(かぶり厚さ 6.5cm, 設備耐用年数 10 年)

鉄筋の腐食確率は、水セメント比  $x$  および環境条件による係数  $\alpha$  が大きくなるにつれて大きくなっている。これは、水セメント比がコンクリートの強度に影響を及ぼすおもな原因の 1 つであることに起因している。ここで、構造物が寿命(腐食確率が 15%)に達する年数は、水セメント比が 55%では、 $\alpha=1.3$  および 1.5 で 50 年以下となった。この 2 つの条件において、構造物のかぶり厚さを大きくする補強を検討した。なお、地上施設の水セメント比 60% の場合では、全ての条件で耐用年数 50 年に達しない結果となった。かぶり厚さを 5.25 cm から 5.5cm, 6.0cm, 6.5cm の 3 種類で鉄筋の腐食確率を求め、寿命を算出した結果、環境条件による係数が  $\alpha=1.3$  の場合、寿命が設計耐用年数を上回るために必要なかぶり厚さは 5.5 cm で、環境条件による係数が 1.5 の場合は、6.5cm となる。この補強による施設建設時の CO<sub>2</sub> 排出量の増加は、かぶり厚さを 6.5cm にした場合で約 6%の増加となり、補強を行う地上施設の CO<sub>2</sub> 排出量は、補強を行わない地下施設の CO<sub>2</sub> 排出量よりも小さくなった。このことから、補強による CO<sub>2</sub> 排出量は少なく、地下施設に有利であるとは言い切れない。

## 9. ライフサイクルコストによる評価

施設供用の伴う全負荷(運営負荷、建設負荷、補強による負荷)を、施設の設計耐用年数である 50 年まで加算し、ライフサイクルコスト(以下、LCC)として評価した(図-11)。かぶり厚さを 6.5 cm にした場合、地下施設 B は補強をした地上施設に比べて、50 年後の負荷値が、約 24 % 削減できる。つまり、施設の併用期間を長期的にするほど、施設運営による負荷値の影響が大きくなり、恒温性を有する地下空間を利用するメリットがあると判断できる。ここで、施設躯体だけでなく、内部設備の補修を考慮した LCC を検討した。ここでは、地下施設にだけある昇降設備の更新を検討した。ここに昇降設備の供用後の入れ替え時期(寿命)を 10 年<sup>13)</sup>とし、この昇降設備の寿命を長く見積もった場合として、15 年、20 年の場合も検討した。昇降設備の入れ替えには、設備を新設する場合と同様の建設負荷がかかるとして、LCC を算出した(図-12)。設備の補修を考慮することで、地上施設に比べて地下施設の負荷が大きくなり、地下施設が地上施設に比べて不利になる可能性がある。

## 10. まとめ及び今後の課題

本研究では、既往の研究で大谷採石地下空間の有効利用にメリットがあるとされた研究実験施設について、施設建設及び運営に伴う CO<sub>2</sub> 排出量等の環境負荷値に加えて、施設の維持管理に対する検討も踏まえ、地上と地下空間を比較検討した。施設運営時の負荷値は、恒温性を有する地下施設にメリットがあると判断されたが、施設建設に伴う負荷値は、地下施設で昇降設備を設置する分だけデメリットになるといえる。維持管理に関しては、施設の劣化は地下施設で有利となったが、劣化を抑制する補強による負荷値の増加は少なく、必ずしも地下施設にメリットがあるとは言い切れない。施設供用に伴う全負荷を LCC として評価した結果、施設運営負荷の少ない地下施設が有利であると判断できた。しかし、設備の維持管理を考慮することで不利になる可能性も示唆している。地上施設と地下施設を評価する項目に何を設定すればよいか、算出条件に改善の余地はないか、更なる検討を行う必要が

ある。

## 参考文献

- 1) 全国地球温暖化防止活動推進センター，URL：<http://www.jccca.org/>
- 2) 舟山雅史，清木隆文，西田幸夫，西淳二：大谷石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「審査付論文」，pp.1-10, 2009.
- 3) 空気調和・衛生工学会：空気調和設備設計計画の実務の知識 オーム社出版 1995.
- 4) 空気調和・衛生工学会：建築設備集成 12 研究・実験施設，オーム社出版 1991.
- 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) 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.
- 7) 和泉意登志，嵩英雄，友沢忠紀，副土勲：鉄筋のかぶり厚さの信頼性設計による耐久性向上技術の研究 その1～3，日本建築学会大会学術講演梗概集，1984. 10. pp. 523-528.
- 8) 土木学会：コンクリート標準示方書 設計編，2007年制定.
- 9) 和泉意登志，喜多達夫，前田照信 著：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.
- 10) 土木学会：コンクリート標準示方書 構造性能照査編，2002年制定.
- 11) 米澤敏男，出頭圭三 著：コンクリート構造物の耐久性診断シリーズ 3 鉄筋腐食の診断，森北出版.
- 12) 石川嘉崇：コンクリートの長寿命化がエコな理由（エンバイアラメントとエコノミーの観点から）.  
URL：<http://www.beton.co.jp/pdf/magazine/04-2.pdf>
- 13) 伊藤均：派生地下空間の有効再生に関する研究，名古屋大学修士論文，1999.