

# 放置地下空間の再利用に際しての 可否判断基準に関する研究

## RESEARCH INTO CRITERIA FOR DECIDING WHETHER TO REUSE ABANDONED UNDERGROUND SPACES

福島 二郎<sup>1\*</sup>・築瀬 範彦<sup>2\*</sup>

Jiro FUKUSHIMA<sup>1</sup>, Norihiko YANASE<sup>2</sup>

Currently there are about 12,000 abandoned underground spaces in Japan. Some of these abandoned underground spaces are already used as tourism resources, and there some that are being reused as facilities for industrial activities. However, uniform decision criteria have not been established for whether to reuse underground spaces or not. The situation is that check items may be set for each individual facility, or they may not. If it is possible to indicate some kind of guidelines for decisions on whether to reuse abandoned underground spaces, it will become possible to actively and effectively utilize many abandoned underground spaces that exist throughout the whole country.

Therefore, in this paper, we performed an analysis of accident events in underground spaces, and an analysis of the details of a survey performed on facilities that are already being reused. Based on the results and knowledge obtained, we verified the decision of whether to reuse or not by taking the remains of an old military vehicle factory in Nasukarasuyama City, Tochigi Prefecture as an example. As a result, opinions on the possibility of occurrence of collapse and rockfall accidents in underground spaces with the passage of time, and the details of inspection for which the inspection specifications is judged by former tunnel workers to be highly valid and necessary are presented. Also one decision is indicated for the example of reuse of the old military vehicle factory.

**Key Words :** *Nonuse underground space , Effective use , Criterion of evaluation , Data analysis , Verification of an example*

### 1. はじめに

現在, わが国には, 地下鉄や地下道・トンネル等の交通施設, ショッピングモールや駐車場・貯蔵庫等の商業関連施設, およびガスや電話線等を管理するための共同溝など, 地下を利用して供用されている空間が存在する。さらに, 廃止された道路・鉄道隧道および灌漑用隧道の跡地, 閉鎖された鉱山の坑道跡, 防空壕や軍需工場等の戦争に関連した施設跡地など, 現在では使用されていない放置された地下空間(以下、放置地下空間という。)が約12,000箇所存在している<sup>1)</sup>。このうち, 放置地下空間は, 地域の要請や時代の要請等により建造され使用されてきた施設であるが, 機能の低下に伴う新たな施設への移行や, 使用目的そのものの喪失により放置されるに至ったものである。しかしながら, これらの放置地下

空間も, 地下という特性を生かした活用を図ることにより, 生産活動や観光資源などを目的とした, 有効かつ有用な再利用が可能であると考えられる。

これらの放置地下空間の中には, 現在, 僅かではあるがすでに観光資源として, また, 産業活動の場として再利用されている施設もある。しかしながら, 再利用に際して統一的な判断基準が定められているわけではなく, 施設個々にチェック項目を設定しているか, あるいはまったく行われていないのが実情である。放置地下空間の再利用に際し, その判断となる何らかの目安を示すことができれば, 全国に数多く現存する放置地下空間の有効な活用が可能になると考えられる。

これらを踏まえ, 第16回シンポジウムでは, 放置地下空間の現状と再利用状況, 安全性に対する各種検査法の有効性に係る比較, さらに, その使用に係る法的制約事

キーワード: 放置地下空間, 再利用, 判断基準, 資料分析, 事例検証

<sup>1</sup>正会員 足利工業大学准教授 工学部創生工学科 Associate Professor, Ashikaga Institute of Technology, (E-mail: fuku@ashitech.ac.jp)

<sup>2</sup>正会員 足利工業大学教授 工学部創生工学科 Professor, Ashikaga Institute of Technology,

項についてまとめた。今回は、放置地下空間の再利用の判断基準について検討を行う。具体的には、地下空間においてこれまでに発生した事故事例の分析、また、既に再利用が行われている施設において実施されている検査内容の分析を行うとともに、得られた成果・知見を基に、地下空間の一つである栃木県那須烏山市の旧戦車工場跡を事例として、その再利用の可否について考察することを目的とする。

## 2. 地下空間における事故形態等に関する分析

### (1) 調査の方法と内容

ここでは、わが国においてこれまでに発生した地下空間の事故事例について分析を行った。具体的には、トンネル・鉱山等の掘削方法や構造形式等の相違による事故発生との関連について分析した。

事故事例の抽出はインターネットの iGoogle を用い、キーワードとして大分類 9 項目を設定し、さらに個々に小分類を組み合わせ、計 27 項目の検索ワードを用いた。キーワードの設定に際しては、本研究の目的である放置された地下空間を再利用するための検討であることを念頭に、大分類の項目はトンネル・鉱山施設・旧戦争関連施設等とした。さらに、小分類項目は事故・落盤・崩落・ガス中毒・爆発・火災とし、検索は大分類と小分類を組み合わせた検索ワードに従って実施し、ヒットしたものを記録するとともに、検索できなくなった時点で次の検索ワードに移行した。ヒットした件数の内、重複したものは削除した。このようにして、全 27 項目の検索ワードで検索した結果、631 件が抽出できた。

表 1 に、大分類および小分類により設定した 27 項目の検索ワードと、各項目における抽出件数を示す。

### (2) 事故区分と発生件数

ここでは、抽出した件数 631 件について、その事故形態から「落盤・崩落事故」・「ガス中毒」および「火災・爆発」の 3 形態に区分した。さらに、3 区分毎に「掘削中」および「完成後」に再区分し整理した。その結果、本研究の目的である放置された地下空間の再利用の検討に際して最も重要と考えられる「崩落事故」に係る件数は 179 件であり、全件数に占める割合は約 28% であったが、その内“完成後に崩落”した件数は 20 件・約 3% であった。

表 2 に、事故区分と事故発生件数およびその割合を示す。

### (3) 完成後に崩落した事故事例の分析

表 1 検索ワードと抽出件数

| 検索順 | 検索ワード  |      | 抽出件数 |
|-----|--------|------|------|
| 1   | 地下空間事故 |      | 14   |
| 2   | 特殊地下壕  | 事故   | 4    |
| 3   |        | 落盤事故 | 2    |
| 4   |        | 崩落事故 | 0    |
| 5   | 隧道     | 事故   | 19   |
| 6   |        | 落盤事故 | 10   |
| 7   |        | 崩落事故 | 10   |
| 8   | 廃坑事故   |      | 4    |
| 9   | トンネル   | 事故   | 8    |
| 10  |        | 落盤事故 | 12   |
| 11  |        | 崩落事故 | 1    |
| 12  | 防空壕    | 事故   | 0    |
| 13  |        | 落盤事故 | 4    |
| 14  |        | 崩落事故 | 2    |
| 15  | 炭鉱     | 事故   | 12   |
| 16  |        | 落盤事故 | 18   |
| 17  |        | 崩落事故 | 15   |
| 18  |        | ガス中毒 | 9    |
| 19  |        | 爆発事故 | 52   |
| 20  |        | 坑内火災 | 10   |
| 21  | 鉱山     | 事故   | 20   |
| 22  |        | 落盤事故 | 11   |
| 23  |        | 崩落事故 | 7    |
| 24  |        | ガス中毒 | 7    |
| 25  |        | 爆発事故 | 23   |
| 26  |        | 坑内火災 | 356  |
| 27  | 大谷石    | 落盤事故 | 1    |
| 合計  |        |      | 631  |

表 2 事故区分と発生件数・割合

| 区分    | 発生件数        | 掘削中/完成後の構成率 |             |
|-------|-------------|-------------|-------------|
| 崩落・落盤 | 179 (28.3%) | 掘削中         | 159 (25.2%) |
|       |             | 完成後         | 20 (3.1%)   |
| ガス中毒  | 17 (2.7%)   | 掘削中         | 15 (2.4%)   |
|       |             | 完成後         | 2 (0.3%)    |
| 火災・爆発 | 435 (69.0%) | 掘削中         | 433 (68.7%) |
|       |             | 完成後         | 2 (0.3%)    |
| 合計    | 631 (100%)  |             | 631 (100%)  |

次に、表 3 に“完成後に崩落”した 20 件を示す。

この 20 件の事故事例について、さらに①竣工から事故発生までの年数、②掘削方法、③構造形式、④断面形状、⑤断面の大きさ、および⑥崩落の原因についての分析を行った。

表3 完成後に崩落した施設20件の構造形式等

| 番号 | 事故発生日           | 施設名(所在地)                | ①竣工から事故発生までの年数 | ②掘削方法  | ③構造形式 | ④断面形状 | ⑤断面の大きさ(幅×高さ) |
|----|-----------------|-------------------------|----------------|--------|-------|-------|---------------|
| 1  | 1917年<br>(大正6)  | 松野トンネル<br>(福島県喜多方市)     | 完成8年後          | 機械     | 煉瓦    | アーチ   | 3.9×4.1       |
| 2  | 1997年<br>(平成9)  | 豊浜トンネル                  | 完成12年後         | 機械     | RC    | アーチ   | 6.5×4.7       |
| 3  | 1989年<br>(平成1)  | 玉川トンネル<br>(石川県南越前町)     | 完成19年後         | 機械     | RC    | 躯体形   | 16×4.0        |
| 4  | 1997年<br>(平成9)  | 白糸トンネル<br>(北海道島牧村)      | 完成21年後         | 機械     | RC    | アーチ   | 8.5×8.9       |
| 5  | 1960年<br>(昭和35) | 唐津炭坑<br>(佐賀県唐津市)        | 完成22年後         | 機械     | 素掘り   | 躯体形   | 2.5×4.8       |
| 6  | 1999年<br>(平成11) | 福岡トンネル<br>(福岡県宮若市)      | 完成24年後         | 機械     | RC    | アーチ   | 20×6          |
| 7  | 1963年<br>(昭和38) | 唐津炭坑<br>(佐賀県唐津市)        | 完成25年後         | 機械     | 素掘り   | 躯体形   | 2.5×4.8       |
| 8  | 1961年<br>(昭和37) | 樋曾山隧道<br>(新潟県新潟市)       | 完成28年後         | 機械     | C     | アーチ   | 7×8           |
| 9  | 2004年<br>(平成16) | 水道送水隧道<br>(広島県)         | 完成30年後         | 機械     | RC    | アーチ   | 3.3×3.3       |
| 10 | 1991年<br>(平成3)  | 日向神ダムトンネル<br>(福島県黒木町)   | 完成32年後         | 機械     | RC    | アーチ   | 0.8×0.5～1.0   |
| 11 | 1998年<br>(平成10) | 東京都特殊地下壕<br>(東京都日野市)    | 完成53年後         | 手掘り    | 素掘り   | アーチ   | 4×3           |
| 12 | 1990年<br>(平成2)  | 小山野隧道<br>(千葉県君津町)       | 完成54年後         | 機械     | C     | アーチ   | 5.3×3.5       |
| 13 | 1999年<br>(平成11) | 東京都特殊地下壕<br>(東京都)       | 完成54年後         | 手掘り    | 素掘り   | アーチ   | 4×3           |
| 14 | 2000年<br>(平成12) | 鹿児島県特殊地下壕<br>(鹿児島県鹿児島市) | 完成55年後         | 手掘り    | 素掘り   | アーチ   | 3×2           |
| 15 | 2002年<br>(平成14) | 稲葉隧道<br>(新潟県魚沼市)        | 完成57年後         | 手掘り・発破 | RC    | 躯体形   | 2.0×2.0       |
| 16 | 2002年<br>(平成14) | 梅ヶ丘特殊地下壕<br>(東京都日野市)    | 完成57年後         | 手掘り    | 素掘り   | アーチ   | 4×3           |
| 17 | 2003年<br>(平成15) | 御嵩炭坑<br>(岐阜県御嵩町)        | 完成64年後         | 手掘り    | 素掘り   | アーチ   | 3.5×4         |
| 18 | 2010年<br>(平成22) | 御嵩炭坑<br>(岐阜県御嵩町)        | 完成71年後         | 手掘り    | 素掘り   | アーチ   | 3.5×4         |
| 19 | 現在も崩落が<br>進んでいる | 真弓隧道<br>(愛媛県内子町)        | 完成75年後         | 機械     | 素掘り   | アーチ   | 3×4           |
| 20 | 1979年<br>(昭和54) | 弘文洞跡<br>(千葉県大多喜町)       | 完成約140年後       | 手掘り    | 素掘り   | アーチ   | 10×30         |

※機械というのは機械・発破として区別するものとする  
 ※炭鉱または鉱山等は閉山後に崩落したものに限る

表4 分析区分と件数・割合

| ①竣工から事故発生までの年数 |        |          |
|----------------|--------|----------|
| 記号             | 区分     | 件数(構成率)  |
| A              | 10年以内  | 1(5.0%)  |
| B              | 10～30年 | 7(35.0%) |
| C              | 31～60年 | 8(40.0%) |
| D              | 61年以上  | 4(20.0%) |

| ③構造形式 |     |           |
|-------|-----|-----------|
| 記号    | 区分  | 件数(構成率)   |
| A     | 煉瓦  | 1(5.0%)   |
| B     | RC  | 7(35.0%)  |
| C     | C   | 2(10.0%)  |
| D     | 素掘り | 10(50.0%) |

| ⑤断面の大きさ |          |           |
|---------|----------|-----------|
| 記号      | 区分       | 件数(構成率)   |
| A       | 高さ2m以下   | 3(15.0%)  |
| B       | 高さ2.1～5m | 13(65.0%) |
| C       | 高さ5.1m以上 | 4(20.0%)  |

| ②掘削方法 |        |           |
|-------|--------|-----------|
| 記号    | 区分     | 件数(構成率)   |
| A     | 機械     | 12(60.0%) |
| B     | 手掘り    | 7(35.0%)  |
| C     | 手掘り+発破 | 1(5.0%)   |

| ④断面形状 |     |           |
|-------|-----|-----------|
| 記号    | 区分  | 件数(構成率)   |
| A     | アーチ | 16(80.0%) |
| B     | 躯体形 | 4(20.0%)  |

表5 完成後に崩落した20施設の崩落に関する分析

| 事事故例 | ①竣工から事故発生までの年数 | ②掘削方法 | ③構造形式 | ④断面形状 | ⑤断面の大きさ(幅×高さ) | ⑥崩落原因     |
|------|----------------|-------|-------|-------|---------------|-----------|
| 1    | A              | A     | A     | A     | B             | 浸透水(融雪)   |
| 2    | B              | A     | B     | A     | B             | 浸透水(湧水)   |
| 3    | B              | A     | B     | B     | B             | 浸透(降雨)    |
| 4    | B              | A     | B     | A     | C             | 浸透水(降雨)   |
| 5    | B              | A     | D     | B     | B             | 風化(圧力)    |
| 6    | B              | A     | B     | A     | C             | コールドジョイント |
| 7    | B              | A     | D     | B     | B             | 風化(圧力)    |
| 8    | B              | A     | C     | A     | C             | 浸透水(湧水)   |
| 9    | C              | A     | B     | A     | B             | 風化(乾湿)    |
| 10   | C              | A     | B     | A     | A             | 風化(乾湿)    |
| 11   | C              | B     | D     | A     | B             | 風化(圧力)    |
| 12   | C              | A     | C     | A     | B             | 風化(降雨)    |
| 13   | C              | B     | D     | A     | B             | 風化(圧力)    |
| 14   | C              | B     | B     | B     | A             | 風化(降雨)    |
| 15   | C              | C     | D     | A     | B             | 風化(圧力)    |
| 16   | C              | B     | D     | A     | A             | 風化(圧力)    |
| 17   | D              | B     | D     | A     | B             | 風化(圧力)    |
| 18   | D              | B     | D     | A     | B             | 風化(圧力)    |
| 19   | D              | A     | D     | A     | B             | 風化(酸化)    |
| 20   | D              | B     | D     | A     | C             | 風化(酸化)    |

表4に、分析項目①～⑤における分析区分と、各々の件数および構成率を示す。

#### (4) 崩落に関する分析の結果

“完成後に崩落”した20件の事例について、分析区分①～⑥における分析結果を、表5に整理した。これを

基に、総合分析を行い、以下のことが分かった。

a) 完成後10～30年の間に崩落した件数は20件中7件であり、7件すべてが機械掘削である。

b) 機械掘削による施設は20件中12件であり、その内8件が30年以内に崩落している。

c) また、手掘り掘削による施設は20件中7件であ

表6 既活用施設で実施されている検査項目の整理<sup>3)、4)</sup>

| 番号 | 施設名称         | 延長×最大幅<br>×最大高さ<br>(m) | 構造<br>形式 | 断面<br>形状 | 検査項目         |              |            |              |            |      |                                   |                      |               |        | 備考 |
|----|--------------|------------------------|----------|----------|--------------|--------------|------------|--------------|------------|------|-----------------------------------|----------------------|---------------|--------|----|
|    |              |                        |          |          | (1)温度・<br>湿度 | (2)空気<br>の流れ | (3)目視      |              |            |      |                                   | (4)叩き<br>(打音・<br>浮石) | (5)内空<br>寸法測定 | (6)その他 |    |
|    |              |                        |          |          |              |              | ①湧水・<br>浸水 | ②ひび割<br>れ・亀裂 | ③剥落・<br>欠損 | ④付着物 | ⑤煉瓦の積<br>層状態(目地<br>痩せ、孕みだ<br>し、等) |                      |               |        |    |
| 1  | 細倉メインパーク     | 777×15×4.1             | 素掘り      | アーチ      | ○            | ○            | ○          |              |            |      |                                   | ○                    |               |        |    |
| 2  | 足尾銅山観光       | 40×2×3                 | 素掘り      | アーチ      | ○            | ○            | ○          |              |            |      |                                   | ○                    |               |        |    |
| 3  | 小平鱈乳洞        | 93×3×10                | 素掘り      | アーチ      | ○            |              |            | ○            | ○          |      |                                   |                      |               |        |    |
| 4  | 源三窟          | 120×2×2                | 素掘り      | アーチ      |              |              |            |              |            |      |                                   |                      |               |        |    |
| 5  | 宇津野洞窟        | 100×2×10               | 素掘り      | アーチ      |              |              |            |              |            |      |                                   |                      |               |        |    |
| 6  | 竜宮洞穴         | 96×15×10               | 素掘り      | アーチ      |              |              |            |              |            |      |                                   |                      |               |        | ※① |
| 7  | 勝沼トンネルワインカーヴ | 1104×3.57×4.90         | 煉瓦       | アーチ      | ○            |              | ○          |              |            |      |                                   |                      |               |        |    |
| 8  | 喜久水酒造地下貯蔵研究所 | 93×3.7×4.6             | 煉瓦       | アーチ      | ○            |              | ○          |              |            |      |                                   |                      |               | ※地山の状態 |    |
| 9  | 大日影トンネル遊歩道   | 1367.8×3.57×4.90       | 煉瓦       | アーチ      | ○            |              | ○          | ○            | ○          | ○    | ○                                 | ○                    | ○             |        |    |
| 10 | 菱山隧道遊歩道      | 13.74×3.0×             | 煉瓦       | アーチ      | ○            |              | ○          | ○            |            | ○    | ○                                 |                      |               |        |    |
| 11 | 明治トンネル       | 157.5×3.5×2.8          | 素掘り      | アーチ      |              |              |            |              |            |      |                                   |                      |               |        | ※② |
| 12 | 大正トンネル       | 82×3.6×3.4             | 煉瓦       | アーチ      |              |              |            |              |            |      |                                   |                      |               |        | ※③ |
| 13 | 七里岩地下壕群      | 120×4×6                | 素掘り      | アーチ      |              |              |            |              |            |      |                                   |                      |               |        | ※④ |

※①入洞を禁止している

※②簡易な柵を設けている

※③金網を張って立入りを禁止している

※④普段は立ち入り禁止。希望がある場合は管理者が案内している

表7 点検内容の分析

| 来場者の有無       | 施設の形成      | 該当施設番号  | 点検内容(番号は表6の点検項目)            |                 |
|--------------|------------|---------|-----------------------------|-----------------|
|              |            |         | 『共通』                        | 『一部』            |
| (1)一般の来場者有り  | ①自然形成      | 3, 4, 5 |                             | (1), (3)②, (3)③ |
|              | ②人工形成(煉瓦)  | 9, 10   | (1), (3)①, (3)②, (3)④, (3)⑤ | (3)③, (4), (5)  |
|              | ③人工形成(素掘り) | 1, 2    | (1), (2), (3)①, (4)         |                 |
| (2)管理者のみが使用  | ④自然形成      | 6       |                             |                 |
|              | ⑤人工形成(煉瓦)  | 7, 8    | (1), (3)①                   |                 |
|              | ⑥人工形成(素掘り) | 13      |                             |                 |
| (3)来場者・入坑者無し | ⑦自然形成      | 6       |                             |                 |
|              | ⑧人工形成(煉瓦)  | 12      |                             |                 |
|              | ⑨人工形成(素掘り) | 11      |                             |                 |

り、すべて30年以上経過したのちに崩落している。

b) も踏まえ、機械掘削より手掘り掘削の方が崩落の可能性は小さい。

d) 完成から60年以上が経過した施設の崩落は20件中4件であり、全体の0.6%とそのリスクはさらに小さくなる。なお、地盤工学的な知見によれば、時間経過に伴い掘削断面周囲の応力が安定することが報告されている<sup>2)</sup>。

### 3. 既に活用されている地下空間施設の検査内容に関する分析

#### (1) 調査の趣旨と方法

ここでは、既に活用されている東日本の13施設の現地調査を行い、管理者へのヒアリングおよび規模・断面形状などの現況調査を行った。この調査では、各施設で実施されている検査項目とその内容を整理・把握するとともに、地下空間の再利用に際してどのような検査内容が必要なのか、また、どのような視点が必要なのかについて知見を得ることを趣旨とした。

今回取り上げた13の施設は、観光用施設として再利用されているもの、および生産・産業活動に再利用されているものであり、さらに旧坑道・旧トンネル・旧戦争関連施設・鍾乳洞等、新旧用途および構造・形式を考慮するとともに、現地調査の便宜を踏まえ関東甲信越地域を中心に抽出した。また、観光および生産活動再利用施設として著名な2施設(表6の施設番号1および8)を加えた。

表6に、13施設の形状・形式および実施されている検査内容を示す(○印:実施)。

#### (2) 点検内容の分析

上記データを整理したのち、点検内容についての分析を行った。まず、13の施設の再利用に際しての使用形態を「一般の来場者有り」「管理者のみが使用」および「来場者・入坑者無し」の3つに大分類し、さらに施設の形成形態(構造)の区分として、「①自然形成」「②人工形成(煉瓦)」および「③人工形成(素掘り)」に分けた。次に、この9通りの区分に該当する施設において実施されている検査内容について、“すべての施設で実施されているもの”を『共通』，“一部の施設で実施されているもの”を『一部』、何も行われていないものは“空欄”とした。このようにして整理したものを、表7に示す。

#### (3) 結果の考察

表7から、以下のことが分かった。

##### 1) 点検項目の内容

「一般来場者有り」の「③人工形成(素掘り)」で行っている点検「(2)空気の流れ」というのは、施設内の温度変化を確認するための点検項目であり、「②人工形成(煉瓦)」で行っている点検の「(3)②ひび割れ・亀裂」「(3)③剥落・欠損」と検査の目的が同じである。また、「③人工形成(素掘り)」で行っている点検項目「(4)叩き」は、施設の岩盤の“浮石”や“背面空洞”を確認するための点検であり、「②人工形成(煉瓦)」の「(3)③剥落・欠損」と検査の目的が同じである。従って、「一般来場者有り」の「②人工形成(煉瓦)」と「③人工形成(素掘り)」では、「(1)温度・湿度」「(3)①湧水・浸水」「(2)空気の流れ」「(4)叩き」を行っていることになる。煉瓦施設の場合は、さらに点検が可能となる「(3)⑤煉瓦の積層状態」と、慎重を期す詳細点検としての「(5)内空寸法測定」を行っているが、この点検は6年間隔・年4回測定とその頻度は少ない。

##### 2) 一般者の入場を前提とした検査項目

「一般来場者有り」の「①自然形成」ではすべての施設において『共通』の点検項目はないが、『一部』の施設では「(1)温度・湿度」「(3)②ひび割れ・亀裂(＝空気の流れ)」「(3)③剥落・欠損(＝叩き)」を行っている。このことから、「一般来場者有り」すべての施設において、「(1)温度・湿度」「(2)空気の流れ」「(4)叩き」を最低限行っている。

### 3) 非公開施設の検査項目

「管理者のみが使用」する施設(『勝沼ワインカーヴ』『喜久水酒造地下所蔵研究所』)では、「(1)温度・湿度」と「(3)①湧水・浸水」の点検を行っているが、その他の施設では何も行われていない。それは不特定多数の来場者を対象としている場合は人命が係わっており、管理者のみが使用の場合はその財産管理が目的であり、その相違が点検項目に現れているものと考えられる。

以上のことから、一般の来場者がある施設の点検項目としては、旧来の坑道職人が経験則で行ってきた「(1)温度・湿度」「(3)①湧水・浸水」「(2)空気の流れ」および「(4)叩き」が点検項目として行われており、その内容が地下空間施設使用において有効な点検であろうと考えられる。また、慎重を期すには、数値による内部変形の把握を行う「(5)内空寸法測定」を加えれば、さらに良いといえるだろう。

## 4. 事例検証－栃木県那須烏山市の旧戦車工場跡の再利用についての検討－

### (1) 旧戦車工場跡の空間把握

これまでの分析結果を踏まえ、栃木県那須烏山市に現存する旧戦車工場跡(正式名称は、「東京動力機械製造株式会社地下工場跡」)の再利用の適否の判断について検討を行った。この旧戦車工場跡はこれまで詳細な調査が行われていない。そのため、その検討に際し、まず旧戦車工場跡の内部構造・規模等を把握することを目的として、3Dレーザースキャナ(「ニコントリンプル社GS200」)を用いて計測を行い、平面図および断面図の作成を行った。

今回の調査では、3本の縦坑と5本の横坑により構成されるすべての坑道の断面図および立面図を計測し作成するとともに、各坑道の断面寸法と延長距離を求めた。図1に平面図、図2に中央坑道(図1の①坑道)の出口地点を眺望した内部断面図を、また、図3に同じく中央坑道の側面図を示す。さらに、8本の各坑道の幅×高さの測定値とその平均値、および延長距離を表8に示す。

### (2) 再利用の適否の判断に係る検討

ここでは、これまで分析してきた知見・成果を基に、旧戦車工場跡の再利用に係る可否判断について検討を行った。

まず、旧戦車工場跡の坑道の構造形式は素掘りであり、また、その竣工は1945年であることから、完成後67年が経過していることになる。すなわち、(1)掘削方法

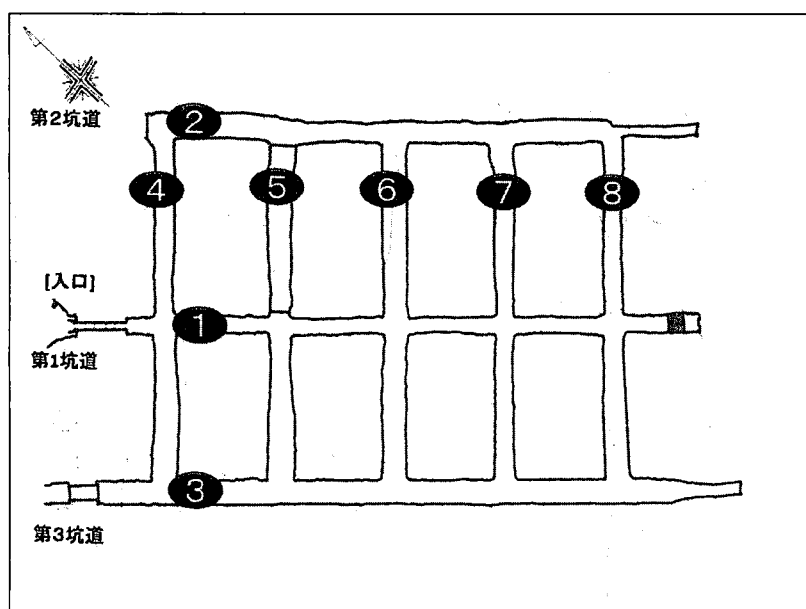


図1 旧戦車工場跡の平面図

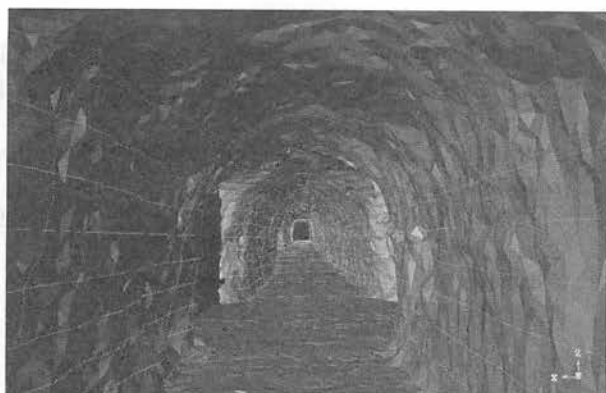


図2 中央坑道の内部断面図

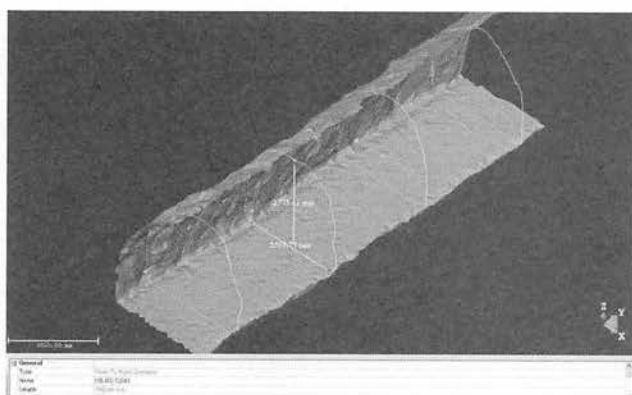


図3 中央坑道の側面図

表8 各坑道の断面寸法と延長距離

| 測定位置 |    | 断面寸法(m) |     |     | 延長(m) |
|------|----|---------|-----|-----|-------|
|      |    | 最小      | 最大  | 平均  |       |
| 坑道①  | 幅  | 2.6     | 2.7 | 2.7 | 110.5 |
|      | 高さ | 3       | 3.5 | 3.1 |       |
| 坑道②  | 幅  | 1.6     | 3.6 | 3.3 | 106.2 |
|      | 高さ | 2       | 3.3 | 2.9 |       |
| 坑道③  | 幅  | 4       | 4.2 | 4.1 | 124.0 |
|      | 高さ | 3.3     | 3.2 | 3.3 |       |
| 坑道④  | 幅  | 3.9     | 4.7 | 4.3 | 66.4  |
|      | 高さ | 3.1     | 3.7 | 3.4 |       |
| 坑道⑤  | 幅  | 4.7     | 4.7 | 4.7 | 65.2  |
|      | 高さ | 2.9     | 3.8 | 3.4 |       |
| 坑道⑥  | 幅  | 4.7     | 4.9 | 4.8 | 64.5  |
|      | 高さ | 3.3     | 3.6 | 3.5 |       |
| 坑道⑦  | 幅  | 3.8     | 3.7 | 3.8 | 64.4  |
|      | 高さ | 3.1     | 3.5 | 3.3 |       |
| 坑道⑧  | 幅  | 3.4     | 4   | 3.7 | 63.9  |
|      | 高さ | 2.8     | 3   | 2.9 |       |

は「手掘り」により形成された施設であること、また(2)「完成後の施設」であること、且つ(3)完成後60年以上経過している施設であることが分かる。この内容は、事事故事例分析による知見(2.(4). C)およびd)を踏

まえると、この施設の崩落に対するリスクは極めて小さいと考えられる。

また、再利用に際しては、表5の⑥に示すとおり、完成後60年以上経過した施設にとって崩落原因のすべてである“風化”に対する点検が必要であると考えられる。具体的には、「空気の流れ=ひび割れ・亀裂」「叩き=剥落・欠損」「湧水・浸水」の検査を行うことによる岩盤表面の外観変状について定期的な観察が必要であると考えられる。さらに、不特定多数の来場者があることを想定するのであれば、「内空寸法測定」などの内部変形の把握を行うことも、必要になってくるものと考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、放置された地下空間の再利用に際しての可否判断の目安について、地下空間でこれまでに発生している事事故事例の分析、および既に再利用が行われている施設で実施されている検査内容の分析を基に検討を行った。また、得られた成果・知見から、栃木県那須烏山市の旧戦車工場跡を事例として、その再利用の可否について検討した。その結果、以下のことが分かった。

(1) 地下空間施設の“崩落”の要因について、事事故事例の分析から検討した結果、掘削方法および完成後の年数が一つの目安になることが確認できた。具体的には、「機械掘削」より「手掘り掘削」に安全上の優位が認められた。また、完成した後は、年数を経る毎に崩落のリスクは相対的に低くなり、30年以内に崩落した件数9件・45%、50年台6件・30%、60年以上では4件・20%、100年以上を経過したものは1件・5%であった。

(2) 既に活用されている施設の管理に係る検査の分析では、旧来行われてきた坑道職人の管理に対する考え方が、検査の項目・名称を代えながら現在も踏襲されており、「素掘り」「煉瓦」の構造形式に関わらず適用されている。これらの内容は、地下空間施設の管理における指標として、一定の有効性を示すものと考えられる。

(3) 那須烏山市の旧戦車工場跡は、今回の分析結果を踏まえた検討では、その“崩落”に対するリスクは小さいことが分かった。また、管理への対応としては、一般の来場者の受入れを想定するなら、旧来の坑道掘りの検査内容だけを行うことが必要であると思われる。

さらに、これらの点検を行うとともに、入場料等の賦課による保険加入も、現実的なリスク管理として検討に値するものと考えられる。

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたり、栗原市、細倉マインパーク事務所、足尾銅山観光事務所、甲州市、韭崎市、七里岩地下壕を保存する会、喜久水酒造合資会社、小平鍾乳洞、源三窟、栃木県安足土木事務所保全課には貴重なご教示と資料のご提供を、栃木県立博物館学芸部自然課特別研究員・布川嘉英氏、佐野市葛生化石館学芸員・奥村よほ子氏には貴重なご教示を頂戴致しました。また、那須烏山市商工観光課、株式会社島崎酒造、第一測工株式会社には現地調査に際しご指導とご協力を頂戴致しました。論文作成には、2011 年度卒業研究として調査に携わった卒業研究生の橋本渉君・塚越健一君にご協力頂きました。記して御礼を申し上げます。

本研究は、平成23年度足利工業大学総合研究センター共同研究助成により遂行できたものであることを記し、感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 福島二郎・篠泉・築瀬範彦：放置された地下空間の再利用に関する研究，地下空間シンポジウム論文・報告集 第 16 巻，pp.13-16，2011.
- 2) L.v.RABCEWICZ：The New Austrian Tunneling Method, *Water power Vol17*, pp.19-24, 1965.
- 3) 「大日影トンネル遊歩道・菱山隧道遊歩道健全度調査業務委託調査報告書」：甲州市観光産業部観光課，2010.
- 4) 「山梨県内最大の戦争遺跡 韭崎七里岩地下壕群」：韭崎七里岩地下壕を保存する会資料