

既設地下空間の構造的安定性に関する一考察

—大谷石採掘跡地空間について—

CONSIDERATION OF STRUCTURAL STABILITY OF DISPERSED UNDERGROUND SPACE: THROUGH INVESTIGATION AT OYA

清木隆文・アイダシ オメル・西 淳二・田中 正...

Takafumi SEIKI, Ömer AYDAN, Junji NISHI and Tadashi TANAKA

The authors have investigated about the environmental states and mechanical stability of underground spaces in Cappadocia, Turkey. Based on these results, we considered the structural stability at Oya, Tochighi. Because the geological state in Oya is similar to that in Cappadocia. In this paper, the authors investigate the historical situation of the dispersed underground spaces in Oya. In Oya, many underground spaces are excavated to quarry the fine-tuff for the construction material. The authors carried out the field investigation and took some pictures for the natural analogue. It will be clear that the corrosion may not occur around the pillow, it may thresh hold at the roof area of the cave. The authors also accumulate that how large space the underground refratitive storage needs to be on the commercial base. The authors found that there is a possibility to build the commercial facility in deprived underground spaces in Oya although the traffic facility should be managed.

1. はじめに

地下空間の有効利用を考えるにあたり, その建設費用が地上部の同等な施設に比べて高額になることは否めない。しかしながら, もとからある地下空間—既存地下空間(採鉱, 採石などを行った結果, 2 次的に生み出された地下空間)をその目的に合わせて構造の補正をすることで, その工費を抑えることができる。しかしながら, この修正を行うことは簡単ではなく, (i)交通の便利さ等, 立地がある程度良い事, (ii)構造的に安定性の照査が必要である, などの問題点が挙げられる。そこで著者らは, 大谷地域(栃木県宇都宮市大谷町)を研究対象にして, 大谷石採掘地下空間の現状を踏まえ, 構造的安定性の見地から, 地下空間を有効に利用する基礎的考察を行う。著者らはトルコ共和国・カッパドキア地方の地下空間利用を対象に, 温度・湿度特性の観点から見た住環境および岩盤工学的・地質学的立場から見た地下空間の長期安定性について研究を進めてきた^{1),2)}。本報文ではこの成果をもとに, 国内で同様の地質条件で, 既存の地下空間が存在する場所である大谷地域(栃木県宇都宮市大谷町)を対象として考察したものである。この地区は大谷石(流紋岩質角礫凝灰岩)を主に地下 30 m 以深から産出した結果として, 地下空間を擁している。近年, この大谷石の産出量も減少の一途にあり, 安全性を確保するために採掘によって生じた空間を埋め戻すことなどが検討されている。本報文では, トルコ共和国・カッパドキア地方および大谷地域の2地域を比較し, 大谷地域の採

キーワード: 採掘地下空間, 構造的安定性, 大谷地域, トルコ共和国・カッパドキア地方

*	正会員	工博	宇都宮大学助教授	工学部建設学科建設工学コース
**	正会員	工博	東海大学教授	海洋学部海洋土木工学科
***	フェロー	工博	名古屋大学教授	大学院工学研究科地圏環境工学専攻
****	正会員	工修	名古屋大学助手	大学院工学研究科地圏環境工学専攻

掘跡地空間の展望について考える。

2. 大谷地域の現状および特色

2.1 大谷石の地質的特性

大谷石は、栃木県宇都宮市の中心より北西約10kmに位置する大谷町を中心に、新第三紀頃（約2,000万年前）に形成された代表的な熔結凝灰岩であり、今から1,500万年以上前に海底火山の激しい噴火活動のもと火山噴出物（火山灰や岩片）が繰り返し海底に堆積して、現在のような厚い層を形成し、陸地となるところには、緑色凝灰岩（グリーンタフ）に変化していった。この層を構成する岩は、膠結組織・気泡組織の発達した層理のない岩体をなす流紋岩質を呈する。この層は基盤層（流紋岩類、チャート、砂岩など）の上に東西約8km南北約37kmにわたって分布し、厚いところで200～300mの層厚を持っている。東西に約2km、南北に約4kmにわたり、淡緑色凝灰岩が所々に露頭している。採掘区域は東西に約3km、南北に約6kmに及んでいる。用途として、住宅の擁壁材や壁材、建物の化粧板など広く使われる。大谷石の品質は、「ミソ」と呼ばれる粘土鉱物等の不純物を伴う空隙の密集度合いに依存している「通り」（写真-1）と呼ばれる部分の多少によって決まる。すなわち「ミソ」の集中している部分は石材としての品質はあまり良くないので、「通り」を避けて、できるだけ良質な石材を切り出すこととなる。特に、「ミソ」の含有の少ないものから多い大谷石を細目、荒目一級、荒目二級などと分類して呼ぶ。大谷石の走向・傾斜は「ミソ」の方向をもとに記すと、東部で、 $N30^{\circ} \sim 50^{\circ} E$ 、 $4 \sim 6^{\circ} E$ 、断層の西側では $N18^{\circ} \sim 23^{\circ} E$ 、 $10 \sim 8^{\circ} E$ である³⁾。大谷層は上部層、中部層、下部層、最下部層に分けられ、傾斜のゆるい断層部で中層部に接し、上層部の下部は「通り」が無く最も良質な石材である。この地域から産出される大谷石は、荒目石、細目石、田下石、桜田石の4種類に大別される。荒目と細目の間に「中目」を設け、3段階で石材としての区分も行われる。細目は大谷層の上部層の下・中位から採られ、荒目は中部層の上位から中位に分布している。細目と同様の内部構造を持ち、白色を呈した石材「白目」も一部で産する。田下石、桜田石は下部層の「ミソ」を含まない細粒凝灰岩を指す。これらの名前は採掘する字名に由来する。地下水位は地表から概して10m以浅と比較的浅いことが特徴である。

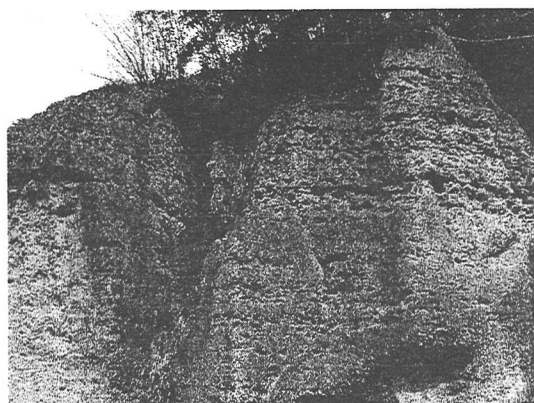


写真-1 大谷石の「通り」：写真中水平方向につづく凸凹の並びが「通り」である

2.2 大谷石の利用・掘削の歴史³⁾

大谷石は、古くから掘削して使われてきた。今から約1万年前（縄文の創生期）から2千年前の弥生時代までの約8千年にわたり、人間の住居でもあり、墓所として使われることもあった。天然斜面の半洞窟（オーバーハングした窪み）は風雨をしのぐのに最良の場所であった。これは、半洞窟状の斜面の脚部から日本最古と言われた土器が発見され、またこの位置よりも上部層からは年代順に土器および土器片が出土していることから裏付けられる。また埋葬された人骨も発見されている。弥生時代になると、農耕に適した台地へと生活の場は移動したが、古墳時代になると、大谷石を採掘して古墳の石棺や石室を作り始めた。大谷石が石材として使われたこの頃が初期である。平安時代から鎌倉時代初期にかけては、オーバーハングした半洞窟状の天然斜面に多くの仏像が彫られ、山岳仏教の霊場となった。これは現在の大谷寺境内にあり大谷磨窟仏と呼ばれ、特別史跡、重要文化財に制定されている。約1150年前には栃木県内の国分寺建設のために土台や石垣用に大谷石が採掘された経緯がある。近代では、旧帝国ホテルに大谷石利用され、関東大震災に耐えたことにより、全国的に大谷石の名が知られることとなった。第二次世界大戦時には、掘削に伴ってできた採掘地下空洞が軍需工場として使われていたため、採掘は殆ど行われていなかった。現在では、

表-1 大谷石の物性³⁾

物性項目 岩種	見かけ比重		空隙率 (%)	一軸圧縮強度 (MPa)		圧裂引張強度 (MPa)		弾性係数 (GPa)		ポアソン比	
	乾燥	湿潤		乾燥	湿潤	乾燥	湿潤	乾燥	湿潤	乾燥	湿潤
荒目	1.40	1.76	37.9	10.9	5.46	1.55	0.84	4.69	2.17	0.199	0.246
細目	1.40	1.76	38.5	21.4	6.71	2.48	0.87	4.00	1.33	0.165	0.232
田下	1.76	2.04	29.8	32.0	10.8	3.66	1.16	4.96	1.68	0.193	0.238
桜田	1.84	2.12	28.2	41.1	8.82	5.07	0.84	4.65	0.71	0.127	0.193

良質な石材を切り出す作業に伴って派生した多数の大きな空洞が地下に残っている。1960年代に手堀から機械堀が主流となり、生産効率もかなり改善されたが、1973年の売上をピーク（年間生産高 98 億円：石材業者数 118）に、産業の斜陽化がすすんでいる。これは、大谷石の需要減少にあるが、石材業者従業員の高齢化、業界の零細化が拍車をかけている⁴⁾。石材の採掘方法は、地質構造に依存し、良質な大谷石がどの深さにあるかによって決まる。

表-2 カッパドキア凝灰岩の物性²⁾

パラメータ	数値
乾燥密度 (g/cm ³)	1.17-1.62
湿潤密度 (g/cm ³)	1.77-1.96
空隙率 (%)	26-38
一軸圧縮強度 (MPa)	5.38-10.5
引張強度 (MPa)	0.6-1.4
弾性係数 (GPa)	1.4-7.0
ポアソン比	0.19-0.26
内部摩擦角 (°)	13-28
P 波速度 (km/s)	1.8-2.5
S 波速度 (km/s)	0.8-1.8

2.3 大谷石の既設掘削地下空洞の現状

大谷の採掘地域の中でも、T 地区、S 地区、KS 地区において採掘されていた部分は、地表部から深さが 30m～80m の位置にあり、大谷層上部にあたる。直径 20cm～30cm の「ミノ」が密集している「通り」が分布している。すなわちこの部分は石材として価値を成さない部分である。細目が産出される層の下方は厚さ 3m 前後の「通り」で軟質荒目に接するが、この「通り」の中に緩い傾斜の断層があり、一部の坑内で確認される。細目石の採掘場では、落盤、石はね、採掘に伴って盤膨れが発生し、危険な状態になることもある。採掘地下空洞の破壊形態は、この岩種の違いに大きく影響され、細目に多く見られる傾向にある。現状としては、採掘により派生した空洞を埋め戻しそうとする考えが主流である。平成 2 年～3 年にかけて発生した大谷陥没の跡地は廃材により埋め立てられた。一般に廃坑を埋め戻そうという考えはこの事故を境に増長されたように思われる。特にこの時期に発生した陥没が 10,000m² にもものぼることから、その原因となった採掘地下空洞を埋め戻そうとする姿勢が世論から後押しされた形となった。

3. 石材採取の制限と既存地下空洞の利用について

3.1 掘削に際しての地下権の所在について

昭和 26 年に採石法(昭和 25 年法律第 291 号)が制定されたが、それ以前は、許可のないまま採掘していた。しかしながら、宅地の下を掘る場合、石材業者に地下の権利を売却することで、地下を自在に掘ることを認めてきた。しかしながら、現在ではかえてこの“地下権”の売買が採石法の施行前に実施されていたために、廃坑がどの程度分布しているのか完全に把握されていないのが現状である。すなわち、江戸、明治、大正、昭和初期に掘削された坑道の中には記録に残っていないものもあると考えられ、どの程度の廃坑が大谷地域に存在するのか完全に把握されていない。派生した地下空間の長期安定性を考察するためにも、掘削年代の古い空間の分布を追跡することは必要不可欠である。

表-3 大谷石の掘削手法による効率

大谷石の種類	残柱の配置方法	残柱（正方形断面）の1辺の長さ	残柱の間隔W	残柱面積率	一区画当たりの掘削可能面積（m ² ）	最小単位面積（m ² ）
荒目	千鳥形式	4間以上	10間以内	32/196=0.163	542.0	135.5
	通常形式	4間以上	6間以内	16/100=0.160	277.6	277.6
細目	千鳥形式	5間以上	10間以内	50/225=0.22	578.4	144.6
	通常形式	5間以上	6間以内	25/121=0.21	317.3	317.3

表-4 大谷石の掘削手法による効率（1982年の調査結果⁵⁾）

地区名	採取場数	坑内面積（m ² ）	天端一床面平均深さ（m）	採掘空洞量（m ³ ）
II地区	4	5,327	25	102,825
IH地区	6	14,925	25	301,310
T地区	5	42,101	14	561,420
KS地区	10	123,042	28	2,547,890
KO地区	9	82,700	16	1,440,350
S地区	13	137,227	21	2,273,805
KM地区	4	24,020	19	389,600

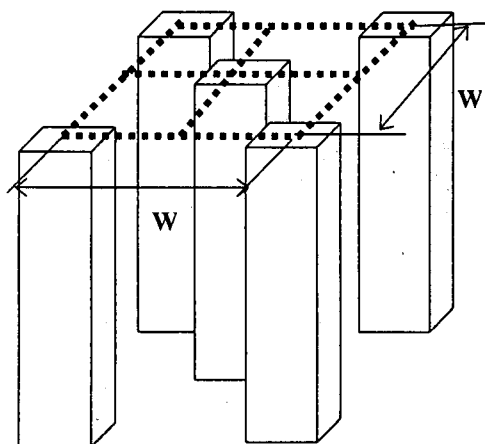


図-1 残柱の配置概念図（千鳥型）

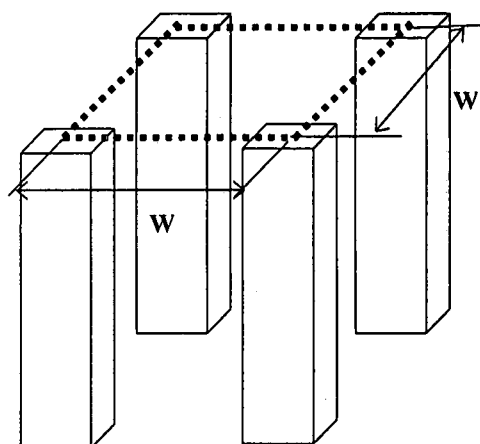


図-2 残柱の配置概念図（通常型）

3.2 掘削深さの制限

石材が一様に分布している位置において、同じ場所で石材を切り出すことができれば、これにより派生する空洞は深くなるが、採算性は良い。一方で掘削深さが深くなれば、一本の残柱が支える荷重が増大するとともに、柱構造特有の破壊、即ち屈曲などが起こりやすくなるため、一軸圧縮的な強度だけでなく、岩石の曲げ強度などに依存することとなり、安全性が大幅に低下する。過去に無計画に掘削を行った経緯があるため、現在の規定を満たさないところは、充てんなどを行い、埋め戻すことが望まれている。

3.3 地質調査に基づく既設地下空間の現状

現在までに、様々な物性試験が行われ、大谷石の物理物性が、明らかとなっている。地盤のモデル化のために、過去実施された現場試験の内容は以下のとおりである(表-1)。物性としては、見かけ比重（自然含水状態、湿潤状態、乾燥状態）、吸水率、有効間隙比、一軸圧縮強度、静的ヤング率、静的ポアソン比、超音波伝播速度の測定（ V_p 、 V_s ）

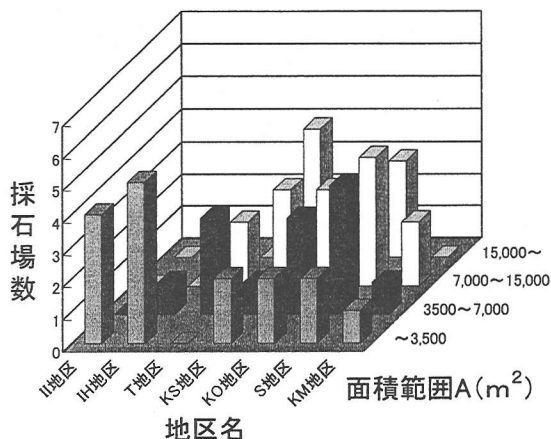


図-3 採石場数とその掘削面積区分⁵⁾

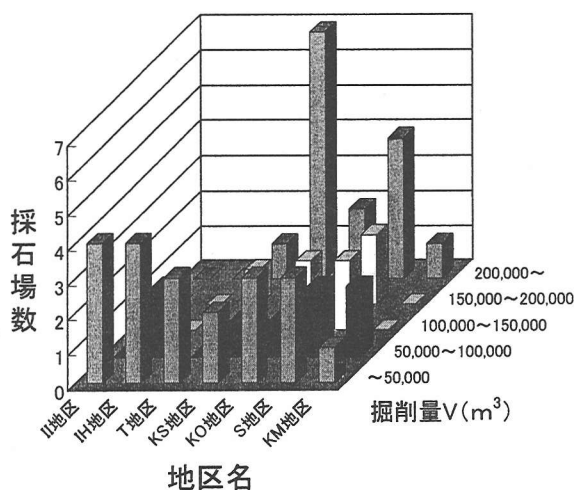


図-4 採石場数と掘削空洞大きさ⁵⁾

をもとにした動弾性係数、動ポアソン比)である(表-1)。トルコ共和国カッパドキア地方に産するカッパドキア凝灰岩との物性(表-2)を比較すると、大谷石とカッパドキア凝灰岩の固体骨格の空隙、比重は同程度である。また、その他の材料物性も同等である。大谷石とカッパドキア凝灰岩をもとにする地下空間を比較することは意義がある。

3.4 大谷石の掘削基準をもとにした地下空間利用手法の考察

昭和31年の大谷石材安全協議会が定めた採掘基準に基づき、残柱の大きさ、間隔などが決定されてきた。東京通産局による指針に伴い、大谷石を掘削する際には、残柱式採石法を採用している。これは、残柱が地圧の大部分を支えるとした工法であり、大谷採石技術の指針⁵⁾の範疇において、どの程度の大きさに残柱の間隔を設定するかは、残存空間を如何に安全に維持するかに強く関係するとともに、採算性に大きく絡んでくる(表-3)。その残柱の大きさは、荒目で4間以上(1間=1.818m)、細目で5間以上とされている。また、残柱の間隔は荒目、細目ともに、千鳥(ジグザグ)配置で10間以内、通常配置で6間以内とされている(表-4、図-1)。残柱が掘削面積に閉める割合は、残柱面積率として表され、単位掘削範囲内にある残柱の断面積の総和との比であるとして計算した。これによると、荒目層で柱の千鳥配置が1区画あたりに残柱の断面積が占める割合が最も小さいため、石材を切り出す場合には最も効率が良い反面、最小単位面積が、最も小さいことがわかる。これは、石材を掘削した後その空間を何かに使おうとする場合、空洞の広がりとして、支柱で区切られた最小単位について、構造上の制限を最も受けやすくなる(表-4、図-2)。

3.5 自動冷蔵倉庫としての成立する構造単位の算出

商業施設として採掘地下空間を利用することを考えると、ある程度の現状の形で使うことが可能であり、かつ地下の持つ特性の一つである“保温性”を生かすことが望まれる。特に自動冷蔵倉庫を採掘地下空洞中に構築することを例とする。倉庫の自動化に伴い、荷物(1,000mm×1,000mm×1,000mm)を載せるパレット(1,100mm×1,100mm×150mm)の大きさを考えると、荷物の基本大きさは、幅1,100mm×奥行き1,100mm×高さ1,150mmとなる⁶⁾。商業上この自動化冷蔵倉庫が成り立つためには、この最小荷物単位が10,000個以上であることが必要である⁶⁾。ここで、これらの荷物(冷蔵対象物)を移動、既存の冷蔵施設を参考にして、冷蔵設備、エレベータ施設、配管スペースなどが、全体の容積の20%を占めると仮定すると、単純計算で、16,698 m³以上の空洞容積必要である。またこれに残柱の断面積の面積占有率(表-3)を考慮すると、最も残柱の占有面積の小さい荒目の通常残柱配置で19,879 m³以上の容積、最も残柱の占有面積の大きい細目の千鳥残柱配置で、21,407 m³以上必要である。これを現存する採掘地下空間の大きさと比

較すると、使用可能な領域を現存する領域の半分以下と見積もったとしても、殆どの空洞が自動化倉庫として実現可能な大きさを持っている(図-3、図-4)。これに加えて、採掘地下空間が直方体に近い構造を持つなど、管理しやすい形状をしているかなどが最適なサイトを絞る条件を課することとなる。構造技術レベルの課題として、周辺地山の凍結・融解など耐久性の程度を把握することが望まれる。

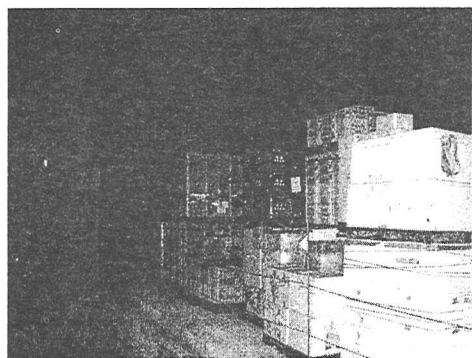


写真-2 大谷資料館の貯蔵風景

4. 地下空間の発生過程についてのトルコ共和国カッパドキア地方との比較

4.1 カッパドキア地方の地下空間

古代の人々は周辺に住居を建てるための十分な樹木がない環境下で、火山活動や宗教的迫害から逃れるために地山を掘削し、地下空間を創出した。結果として、2,000年以上前から地下空間を生活と密接な空間として利用している。周囲の地山は主にカッパドキア凝灰岩で構成されて比較的軟らかく(表-2)、幸運にも当時の単純な掘削道具で地下に都市(町)を建設できる材料が身近にあり、非常に恵まれていたことになる。現在でも一部の大規模な地下空間の掘削を除き、手掘り掘削が行われている。

4.2 大谷地域の採掘地下空間

明治年間は露天採掘が主流であったが、大正年間からは坑内採掘によって石材が切り出された。その結果として地下空間が作られることとなった。掘削方法には「平場掘り」(地上から掘り下げながら採掘する方法)と「垣根掘り」(横坑を使って掘り進み、横方向に石材を掘り進む手法)の二とおりがある。これらを組み合わせた手法が「露天掘り」、「坑内掘り」である。地上から掘り下げる平場掘りの方が、手間などを考えると、垣根掘りに比べてコストは安い。浅層にある質の悪い石材を掘り出すことなく、深部の上質な石材を切り出せるので、垣根掘りの方の採算性が良い。1973年の売上をピークに産業の斜陽化がすすんでいる。新たな産業を誘致するための一つの案として、空間的資源である採掘地下空間の有効利用が望まれる。

5. 地下空間の構造についてのトルコ共和国・カッパドキア地方との比較

5.1 カッパドキア地方の地下空間

カッパドキアの地方にある地下空間で、遺跡となっているものは、空間(部屋)一つ一つの規模はあまり大きくない。地下都市デリンクユを例に採ると、最も大きい空間で幅約4.5m、奥行き約20m、高さ3m程度である²⁾。このような部屋は複雑に階層をなし、人間が一人通れる程度の通路で繋がっている。地上付近で、現在野菜・果物の保存倉庫として使われているものの中には、倉庫中央部で、奥行き方向に3本の残柱があるが、幅約11m、奥行き約25m、高さ5m程度²⁾のものも見られる。殆どが今でも手掘りであるが、機械掘りの倉庫の中には、もう少し規模の大きいものが見られる。

5.2 大谷地域の採掘地下空間

空間の形状は、採石法の制定後は、離隔約10m、深さ20mよりも極端にスパンの大きな柱間隔で掘削されることはなくなった。平均的な採掘地下空間は平面的な広がりがあり1haから1.2haあり、空洞高さは、土被りと坑幅によって異なるが、20m程度が普通である。採掘地下空洞では、1本の立坑で地上に繋がっているため、残柱分布がある程度

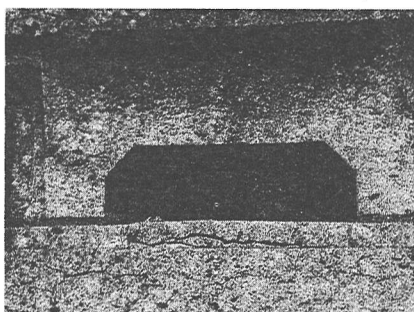


写真-3 空洞モデル掘削例 原型

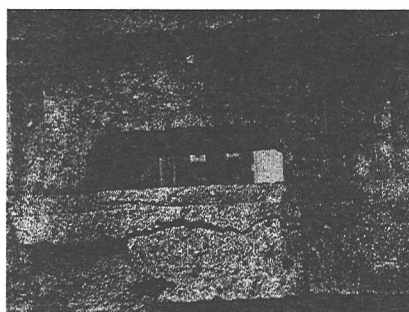


写真-4 空洞モデル掘削例 その1

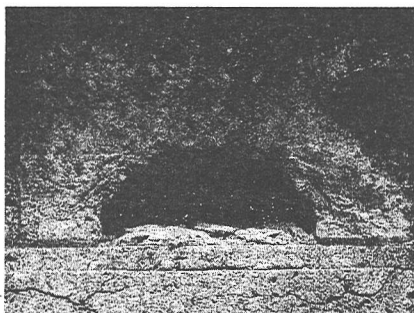


写真-5 空洞モデル掘削例 その2

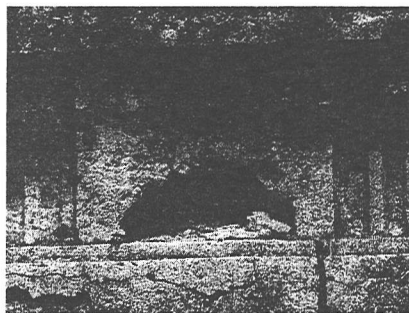


写真-6 空洞モデル掘削例 その3

規則的な迷路状の空間が広がっている。ただ、石材採掘が目的であるので、商品価値の低い石材を避けて掘り進んだ結果、一つの空間が比較的に大きく、トルコ共和国・カッパドキアの地下都市空間に比べて複雑な形状を成している。

6. 地下空間の周辺環境との調和に関するトルコ共和国・カッパドキア地方との比較

6.1 カッパドキア地方の地下空間と周辺環境

地下空間はその入り口と空間の広がり方の関係で、半地下型と地下型に分類される。数多くの地下空間が主要な町およびその郊外に点在している。昔のまま半地下住居を住まいとして使用している一方で廃墟と化した地下空間を別荘やホテルとして再生している。町の郊外では倉庫を地下に作り商業的に使い、季節に応じてオレンジやポテト、玉ねぎなどを貯蔵している。幾世代も前から地下空間を生活の手段として利用してきたので、地下空間と地上周辺環境は非常に良く調和している。1985年にユネスコによって「ギョレメ国立公園とカッパドキア」として世界遺産の一つに制定されたこともあり、町の色調をカッドキア凝灰岩で統一している。気候としては乾燥帯のステップ気候に属する高原のため、草木が十分育たない。加えて夏は暑く、冬は寒いので、地下空間の利用が活発である。

6.2 大谷地域の採掘地下空間と周辺環境

大谷石は淡緑色を呈しているので、大谷地域周辺の緑によく融和している。採掘跡地は周囲に点在し、一部が有効利用されている。例えば1919年から1986年までの約70年間、大谷石を切り出すことによってできた巨大な地下空間（広さ約20,000 m²）が現在、大谷資料館として、一般に公開されている。戦争中は、陸軍の糧秣廠・被服廠の地下秘密倉庫や飛行機の地下工場として使われ、戦後には政府米の保管倉庫としても使われたようである。開館(1979年)以降、美術展やコンサート演奏会などが毎年のように開催され、地下空間が自然の舞台装置として使われている。また年間を通して8℃前後と低い温度に保たれているので、一部貯蔵に使われている(写真-2)。残念ながらこの他の採掘地下空間は、大谷資料館ほど有効には利用されていない。気候的にもトルコ共和国・カッパドキア地方に比べ

て穏やかであり、家屋の建築材料も木材を用いることが可能ため、強いて地下空間を使う必要がない。

7. 大谷石の採掘地下空洞の構造的安定性評価 ―ナチュラル・アナログによる考察―

大谷の採掘地下空間についての安全性の評価指針は、県のレベルで策定されつつある。土被りの深い空洞では、残柱が構造的安定性に大きく影響するが、土被りの浅い地下空洞は天端沈下が支配的である。実際の採掘地下空洞を一つ一つ調査することは困難であるので、著者らは現場踏査を行い、大谷石の長期安定性を考察可能な題材を探した。写真-3から写真-6は、一般家庭の同一擁壁に用いられた大谷石（白目：白色の熔結細粒凝灰岩）製アーチ状構造のブロックを撮影したものである。この擁壁は南向きであり、築造後67年程経過したものである。風雪に同一時期曝された場合においても材料、構造の初期不整により、写真に見られるように大きく状態が異なる可能性があることを示す。また一方で、事例を見ると写真-3から写真-6の順に、空洞が破壊に至る過程と見なすこともできる。

8. まとめ

トルコ共和国・カッパドキア地方の地下空間利用事例を参考にして、大谷地域の既存地下空間を取り巻く環境について検討を行った結果、(i) 地下空間の発生経緯が異なるので、地下空間が既存することがそのまま開発には繋がらない、(ii) 地下水位が比較的高いので、設ける設備によっては凝灰岩の凍結・融解等の安全性を確認する必要がある、等問題がある。また、新たに産業を大谷地域に興す場合、アクセスの機能が十分であり、業務に有利な範囲に設備が立地可能であるという条件を満たす必要がある。この点から考えると道路幅員の広さに問題はあるが、東北自動車道の最寄りのインターチェンジまでの道のりが10 km程度であることを考えると、立地としては適当と考えられる。著者らは現場踏査を行いナチュラルアナログとして大谷石製(白目)の擁壁ブロックの写真を撮影した。この結果、経過時間の同一な擁壁ブロックの様々な変状から、材料・構造の初期不整が支配的であることが推測された。採掘地下空間に商業施設を作る例として、自動冷蔵倉庫について検証した。その商業規模を算出し、現存する採掘地下空間の大きさと比較することで、現在の構造を大きく変更することなしに、十分実現可能であることを示した。ただし、大谷石の凍結・融解に伴う性質の変化を岩盤力学的に明確にする必要がある。大谷地域の採掘地下空間を有効に利用するためには、ソフトのみならずハード的な課題は山積しているが、貯蔵施設、生産施設、研究施設および展示施設等⁷⁾、目的とニーズに適合する地下空間を改修し、新たな展開が望まれる。

参考文献

- 1) 清木隆文, アイダ・オメル, 西 淳二, 市川康明: 地下空間における温・湿度特性に関する一考察―トルコ共和国・カッパドキア地方の地下施設について―, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第4巻, 141-150, 1999.1.
- 2) アイダ・オメル: 文部省科学研究費(国際学術研究)報告書「地下都市(トルコ共和国デリンクユ)の住環境に関する研究」課題番号 09044154, 1999.
- 3) 岡 重文: 大谷石 ～採掘と災害～, 地質ニュース, 地質調査所編, 第167号, 10-19, 1968.
- 4) 例えば下野新聞(平成12年2月10日 朝刊3面), 2,000.
- 5) 東京通商産業局編: 大谷地域における大谷石採石技術指針, 1983.
- 6) 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.
- 7) 川本眺万監修, 三井康司, 藤川富夫, 亀井紀幸: ロックエンジニアリングと地下空間, 鹿島出版会, 1989.