大谷石の紹介

清木隆文*

Introduction to Oya Tuff

by

Takafumi SEIKI*

Key words: Oya tuff, Geological Characteristics, Engineering Characteristics, Underground quarry, History

1 緒 言

大谷石(おおやいし)は、栃木県宇都宮市に産出する軽石凝灰岩あるいは火山砕石凝灰岩である。平成 28 年(2016 年)5 月に日本地質学会によって、栃木県の石に、黄銅鉱(鉱物)、木の葉石(化石)とともに制定され、県を代表する石である。この石の地質的、工学的特徴、大谷石の石材を切り出した後に生まれる採石地下空間の生まれる背景とその工学的性質について紹介する。

2 大谷石とは

大谷石は、栃木県宇都宮市の北西部の約 7km に位置する栃木県宇都宮市大谷町(図 1)¹⁾を中心に、田下町、田野町などから、東西約 4km、東北約 6km の範囲に分布する軽石凝灰岩あるいは火山砕石凝灰岩の通称である。今から約 2 千万年前から 1 千 5 百万年前に海底火山の激しい活動により、溶岩、軽石、火山灰、砂礫などが海底に堆積してできた「軽石凝灰岩」で、埋蔵量は約 6 億トンと推定されている。その趣のある岩質、色調から、石堀、石垣、門柱などをはじめとする住宅用石材に多く利用されている。歴史的に約 1150 年前に使われていたことが記録されているほど、昔から使われていた。約 900 年前の宇都宮城(宇都宮市役所のある場所)に初めて建設されたときに切り出されて用いられたことが記録に出ている。また、1620 年に宇都宮城の改築の際にも用いられたように、地元栃木県では、古くから重宝されてきた。

それ以外にも、耐火性や防音効果に優れているため、江戸時代から貴重な品物を保管する為の倉の建設などにも多く使用された。大正 11 年(1922 年)に建築家フランク・ロイド・ライトの設計により大谷石で建築された旧帝国ホテルは、大正 12 年(1923 年)の関東大震災において焼け残り、大谷石はその耐火性、耐震性の優秀さが認められ、第一級の建築資材として一躍脚光を浴びた。近年では、加工技術の向上に伴い、デザインの多様性から店舗内外装や和風建築にも広く利用されている。

2・1 大谷石の地質学的情報

大谷町は標高 200m の丘陵地帯にあり、この地域の地質は足尾帯に属し、中・古生代のチャート・砂岩・頁岩などから成る古代古第三紀の基盤岩、大谷石層から成る新第三紀層、宝木礫層と北関東ローム(宝木粘土層)から成る第四紀の洪積層から構成されている。今から約 2,000 万年前、日本列島が現在の位置に形成されつつある新生第三紀中新世の前半に、鹿沼丘陵、半蔵山、宇都宮北方

図 1 大谷町の位置¹⁾

の笠松山一宮山田で火山活動があり、安山岩質溶岩類を噴出した。その後、流紋岩質の海底火山の爆発により、大規模な水中火砕流が大谷付近の湾を埋めて大谷石が堆積し、それが凝固して現在の大谷石となった。また、栃木県内では、類似の石材が多く産出している(表 1)²⁾。また、大谷石の層序は、石材や地質との関連から整理されている(表 2)³⁾。

大谷石の岩石としての基質は多量の浮石質ガラス、斜長石、石英と少量の黒雲母角閃岩輝石で構成されている。大谷石に斑点状に含まれる軟らかい褐色の「ミソ」と呼ばれる部分は、含水量の多い沸石およびモンモリロナイトの粘土鉱物から成る少量の蛋白鉄塩鉱物などの不純物を含んでいるがその由来については諸説ある²⁾。大谷石は、花崗岩などの硬岩と比較して重量が軽く、柔らかいため加工がしやすく、耐火性、防湿性に優れている。その一方で、大谷石は非常に風化の進行が早く⁶⁾、特にミソ部分は劣化して欠落しやすいため、これまで風化現象による大谷石の劣化メカニズムについての研究⁵⁾などが行われてきた。

2・2 大谷石採石の歴史と有効利用

大谷石は主に住宅、倉庫(石蔵)、防火壁、貼石、石堀、門柱、敷石、石垣、土止め石(擁壁)等、建築用材として使用されてきた²⁾。これら建築用材としての大谷石の歴史は古く、最も古いものに縄文時代の堅穴式住居の炉石があり、古墳時代では古墳石室に利用され、鎌倉・室町時代のものでは大谷寺の五輪塔、国分寺の紫塚五輪塔

+ 原稿受理 平成29年5月22日 Received May 22, 2017 ©2017 The Society of Materials Science, Japan

* 正 会 員 宇都宮大学大学院工学研究科 〒321-8585 宇都宮市陽東, Graduate School of Eng. Utsunomiya Univ. Yoto, Utsunomiya, Tochigi Pref., 321-8585, Japan.

表 1 栃木県で産出する大谷石とその類似石について²⁾

石材名	地層名	産出地	岩 相	年 代	海成・陸成環境
大谷石 (おおやいし)	大谷層	宇都宮市大谷町、 田野町、田下町	軽石凝灰岩	中期中新世、 (約 1500 万年前)	海成、海中軽石流
長岡石 (ながおかいし)	長岡層	宇都宮市長岡	軽石凝灰岩	中期中新世、 (約 1500 万年前)	海成、海中軽石流
深岩石 (ふかいわいし)	深岩層	鹿沼市深岩	白色、塊状軽石凝灰岩、 流紋岩質岩片を含む	中期中新世、 (約 1500 万年前)	海成、軽石流堆積物
岩舟石 (いわふねいし)	日向層	栃木市岩舟町	安山岩質凝灰角礫岩	前期中新世、 (約 1750 万年前)	陸成層
茂木石 (もてぎいし)	茂木層	栃木県茂木町	軽石凝灰岩	前期中新世、 (約 1700 万年前)	陸成軽石流、一部湖沼堆積

表 2 大谷石の石材と地質的層序について²⁾

地質時代		地層名		層準 Unit 名	岩石名	層の特徴	層厚(m)	用途・産出化石	
新 第 三 紀	中 新 世	大 谷 層	S1 層		S1	泥岩、細粒砂岩、 凝灰岩質砂岩	上部に円摩された白色軽石層(I 層)の二次堆積物、泥岩主体で生物擾乱構造有り。	80+	
			I 層		I	細粒凝灰岩、 軽石凝灰岩	白色軽石を多数混入、全体にガラス質、下部にミソを含む。全体にガラス質。	5～50	地表下に分布
			II 層		II	軽石凝灰岩	細粒均質層とミソゾーンが互層、ミソ周辺に硬質ガラス質部有り。	17～70	石材としては不良
			III 層		III	軽石凝灰岩	ミソ、軽石が小さく均質に入る。	9～29	最上質な石材
			IV 層		IV	軽石凝灰岩	ミソは中～大、基質は中～粗粒。2mm の岩片入る。10～20mm の軽石多い。	9～70	石堀、舗道用一般石材
			V 層	上部	Vup	軽石凝灰岩	岩片を多く混入。ミソは全体に硬質。泥岩に生物擾乱の生痕有り。	40	石堀、舗道用一般石材
			V 層	下部	Vlo	軽石凝灰岩、火山礫凝灰岩、凝灰質礫岩	2～5mm 稀に数 m の岩片や岩塊が入る。無層理でミソゾーン少ない。	30	石材としては不良
			S2 層		S2	泥岩、砂岩泥岩互層、 砂質凝灰岩	タービライト起源。砂岩は非常に硬質。泥岩に生物擾乱の生痕有り。	70	二枚貝、巻貝、貝化石
			VI 層		VI	砂質凝灰岩	火山ガラス、軽石、砂を含む。弱い層理有り。	57	石材には不適
			S3 層		S3	泥岩、泥岩・砂質凝灰岩互層	泥岩に生物擾乱の生痕有り。砂質凝灰岩は、級化を示す。砂質凝灰岩が優勢。	11	石材には不適
			VII 層		VII	砂質凝灰岩、溶結凝灰岩、凝灰質砂岩	緑色の扁平な軽石を多く含む。軽石は 2～40mm。下部でラミナ発達し、級化を示す。	21	一部は田下石として採取
			S4 層		S4	泥岩、泥岩・凝灰質砂岩互層	泥岩に生物擾乱の生痕有り。単層の厚さ 5～10cm、平行・コンボリュート葉理	30	石材には不適
			VIII 層		VIII	溶結凝灰岩	火山ガラス 5～40mm、軽石 2～5mm、岩片 1～2mm を含む。火山ガラスは暗緑色で扁平。	6+	

が知られる。また、元和 6 年(1620 年)の宇都宮城の改築では、濠の土止めに大量の大谷石が使用された。明治 32 年(1899 年)から造営された旧日光田母沢御用邸の木造の骨組みを支えるため、約 3,700 本の大谷石が用いられ、高さ 3m を超える井筒組の基礎を構成していた。

この当時大谷町では大谷石を採石販売する商店や石工たちの職人長屋が軒を並べ、町のあちらこちらから石切りの歌やトロッコを押す職人の吹くラッパの音が聞こえるなど、大変な賑わいを見せていた。採掘は明治時代においては露天採掘が主流であったが、現在残っている空洞のほとんどは残柱式採掘である。また、鉄道の発達に伴い駅構内のホームや橋梁に利用され、東武鉄道の東武宇都宮駅をはじめ、多くのプラットホームを支え、東武東上線の常盤台駅舎の外壁などにも大谷石が用いられた。こうした中、大正 12 年(1923 年)の関東大震災の際に、大谷石造の旧帝国ホテルが焼け残ったことから大谷石の耐火性、耐震性が見直され、利用に拍車がかかりパン釜やピザ釜等の石釜の構造物としても用いられるようになった。戦前には宇都宮カトリック教会や宇都宮聖公会教会等教会建築にも大谷石が利用された。

高度経済成長に伴い宅地造成、工業団地造成が盛んに

なると大谷石が土止め用の石垣や石堀等に大量利用され、昭和 27 年頃から採石職人の手による掘削を機械化する研究が始まり、昭和 30 年(1955 年)には機械化されたシステムが完成したこともあり、昭和 30 年代には生産量も年間 30 万トンを超える大谷石最盛期を迎えた。しかしながら、昭和 53 年(1978 年)に発生した宮城沖地震により建築基準法が改正され、石堀には鉄筋を入れなくてはならないとする制限が課せられ、その用途は限られるようになったことから、需要に陰りが出始めた。さらに追い打ちをかけるように、平成元年(1989 年)に大規模な陥没事故が起き、石材としての大谷石はイメージダウンにつながり、採石する業者は減っていった。現在、採石後の地下空洞は、大小合わせて約 250 箇所あるといわれており、それらが数 10 年から 100 年以上にもわたって廃坑として放置されている。

一方、地下空間利用という立場から、昭和後半には様々な利用方法が考えられていた。その代表的なものとして、音楽・演劇等のイベントホール、岩盤内低温貯蔵庫が挙げられる。前者の例として、大谷資料館は、昭和 53 年(1978)の開館以降、地下空間を自然の舞台装置として演出した美術展や音楽コンサート等のイベントが開

表 3 XRD 試験による大谷石を構成する鉱物の簡易定量分析結果の重量比(%)

構成鉱物	試料(a)	試料(b)	試料(c)	試料(d)
Clinoptilolite	47.0	8.0	58.0	27.0
Quartz	9.0	2.1	5.5	11.0
Cristobalite	2.7	0.0	5.7	0.0
Tridymite	0.0	0.0	0.0	1.0
Anorthite	11.0	30.0	3.2	20.0
Albite	16.0	0.0	8.0	7.0
Stilbite	6.6	2.0	6.1	7.0
Stellerite	6.0	0.0	13.0	0.0
Zeolite	1.6	6.5	0.0	0.0
Muscovite	0.0	51.0	0.0	15.0
Goethite	0.1	0.0	0.0	0.0
Montmorillonite	0.0	0.0	0.0	12.0
Unknown	0.0	0.4	0.5	0.0
合計	100.0	100.0	100.0	100.0

表 4 乾湿繰り返し履歴がない新鮮な場合と乾湿履歴がある大谷石の EDX による定量分析(原子数濃度(%))

構成元素	乾湿履歴なし	乾湿履歴あり
O	64.71	63.16
Na	0	0.84
Mg	2.49	2.08
Al	5.99	6.64
Si	19.98	21.88
Ca	1.06	0.82
Fe	5.77	4.58
合計	100	100

図 2 採石現場の形態

図 3 大谷石の地下採石場の形態

催された。後者に関しては、近年の地球温暖化の進行により環境負荷の低減が求められている事を受けて、地下空間が有する恒温・恒湿性などの特徴を活かし、地上施設に比較して環境負荷の低減を図ることができる貯蔵施設等の地下空間利用について検討がされている。これらの動向は後述する。

2・3 大谷石の採石の歴史

大谷石の採石方法には、平場掘りと垣根掘り(図 2)という 2 種類の掘り方がある。平場掘りは下に掘り下げる方法であり、手掘り時代の平場掘りで掘った跡には、横線の切り跡が石面に見られるのが特徴である。もう一方の垣根掘りは、横に掘っていく掘り方で、伊豆長岡の青石の職人が、明治末から大正初期に大谷に伝えたと言われている。大谷石の地層は、きれいな石の層と、ミソと呼ばれる茶色の粘土鉱物を多く含む石材として使えない製品価値の低い石の層が水平に交互に堆積しているため、この層は掘らずに残し、製品価値の高い石の層だけを掘ることが出来るため画期的な採石方法と言われた。大谷石の採石には、この 2 つの採石方法を組み合わせたいくつかの採石形態がある。採石形態は、大きく露天掘りと坑内掘りの二つに分けられる。露天掘りは大谷石採石の初期の形態で、地上に露出している採石しやすい石の部分で、出来るだけ奥深く掘っていくため石壁が斜めになる。一方坑内掘りは、地表が土などに覆われ、石の層が地下深くにある場合などに用いられる採石形態であり、大きく分けると「柱房式」と「長壁式」の採掘方法(図 3)がある。柱房式採掘法は、一枚の層を基盤目状に掘っていき、基盤目の区域を順次採掘していく方法であり、比較的岩盤が丈夫な場所で行われることが多い。

図4 大谷石石材の変色の過程(A:採石後約1週間以内 B:採石後約1ヵ月 C:採石後約2ヵ月)⁴⁾

図7 黒色に変色した大谷石

図5 大谷石擁壁野白色の粉状に肌落ちする風化³⁾

図6 大谷石擁壁の白色の粉状に肌落ちする風化³⁾

長壁式採掘法は、炭層の傾斜の下側に大谷層に沿って片盤坑道という水平な坑道を掘っていき、そこから櫛状に削り取っていく方法である。この方法は、ドイツなど欧米で広く採用された採掘法であり、機械導入のしやすさか機械導入のしやすさから日本でも戦後の主流となった。

2.4 大谷石の工学的性質

大谷石は、石材として使われるだけでなく、扱い易い材料として、岩盤工学の分野で多く実験が行われている。新鮮な大谷石試料は、採掘場所やその層序にもよるが、平均吸水率 30.16%，平均乾燥密度 1.34 g/cm³，平均乾燥

図8 SEM観察による大谷石表面の微視的構造³⁾

密度 38.37%などの諸量を持つ。大谷石表面の強度を針陥入試験で簡易的に一軸圧縮強さとして求めると、2.20 MPaである³⁾。ただし、これらの数値は、花崗岩などの他の石材に比べて、ばらつきが大きい。

2.5 大谷石の風化特性と工学的問題

大谷石は、加工しやすい一方で、地上環境では風化の進行が早く、それに伴う変色や強度低下、岩石表面の欠落がよく見られる。こうした風化による問題の予測を可能にするためには、地上環境における化学的風化の影響によって起こる変色や強度低下、鉱物組成の変化の関係を捉え、化学的風化による劣化状態を定量的に判断できる指標を作成する必要がある。大谷石は石質や使用方法によっては風化し、特に屋外の民家の壁面に用いられている大谷石は、その表面が脆弱化しやすい。雨や雪により大谷石が水分を吸水し、吸水膨張を繰り返すことに伴いその表面は次第に劣化すると予想され、吸水膨張に伴う大谷石表面の変化は、表面劣化の原因に最も影響していると考えられる。大谷石の風化は、大谷石地下採石場での観察および住宅の塀の観察に基づいて、表面が変色(図4)³⁾するもの、浮いていて触ると簡単に剥がれて白色の粉状、あるいはかさぶた状に肌落ちするもの(図5)³⁾、ある一定の深さで板状に肌落ちするものの3種類に大別される(図6)³⁾。これらの風化状況をつぎのように整理できる。

図9 大谷石を切り出す裁断機

図11 地上への搬出を待つ大谷石石材ブロック

図10 裁断機を用いた大谷石材の切削過程

図12 整形作業を待つ大谷石石材

- 1) 赤褐色に変色するもの
- 2) 白色粉状あるいはかさぶた状に肌落ちするもの
- 3) ある一定の深さで板状に肌落ちするもの

大谷石は風化に伴い、自然石であるために現場環境、採石年数、採石後の保存環境の条件によって変色の現れ方が異なる。一般的に採石して間もない水分を含んだ湿潤状態の大谷石は深青色であるのが、乾燥するに従って淡緑色を呈し、時間の経過に伴い次第に赤褐色に変色する傾向がある(図4)。また外堀に用いられる大谷石の笠石付近は雨の影響を受けることによって、黒く変色しやすいことが確認されている(図7)。

SEMによって観察された大谷石表面の構造を図8に示す。柱状の構造は大谷石の内部で多く確認され、規則性がなく様々な方向に結晶構造が向いていることから、Clinoptilolite(単斜ブチロ沸石)と考えられる。岩屑状の構造は大谷石表面で多く確認され、柱状のClinoptiloliteの形状が崩れたものであると推測する。平滑な構造はEDXからSi(珪素)とO(酸素)で構成されていたため、Quartz(石英)である可能性が高い。平坦な構造は蒸留水、雨水を塗布し静置した大谷石表面に多く確認された。これらの大谷石の微視的な構造と風化の関係について、研究が進められている^{3)~5)}。

3 大谷石を切り出した後の空洞の利用

大谷地域には、大谷石を切り出した(図9-12)後の地下採石場(以下、大谷採石地下空間)が、247箇所にも登り、平成元年(1989年)に坂本地区において大規模な陥没事故が発生し、さらにその後も大・中・小規模な陥没が

発生した。これらのことから、大谷の採石地下空間の危険性が表面化し、採掘後の地下空間の安定性の確保が近年、特に重要視されてきており、大谷採石地下空間の有効利用は、安全性の確保に基づいた利用者への安心の担保が前提とされる。近年、地震時における大谷採石地下空間の構造的な安定性や、空洞内利用を促進することに際して、利用者への安心安全の確保と、その安全性を評価する手法の確立が求められ、研究が進められている^{6)~9)}。宇都宮市大谷地区では、地下空間の特性と大規模な空間を活かした地下空間の利用が進められてきた。しかし、様々な問題が浮上し、撤退されたものもあり、現在は、貯蔵施設などの地下空間の利用が多く、観光客が減少している現状にある。2000年以降の大谷地域におけるイベントを記す(文献¹⁰⁾に追記)。このようなイベントを通して、大谷石の需要を増やすとともに、大谷地域の活性化が図られている。

2001年 フェスタ in 大谷 2001 トワエモア・野外コンサートを開催。

2004年 フェスタ in 大谷 2004 Brown Blessed Voice「ゴスペルコンサート」を開催。

2010年 大谷石産業によって32年ぶりに新しい採掘場が作られた。宇都宮市も、市内において住宅に大谷石を使用した場合に費用を助成する制度を制定。

2011年 フェスタ in 大谷 2011、大道芸ショー、ナイト

図 13 大谷採石地下空間とその有効利用例¹⁰⁾

図 14 大谷採石地下空間の湛水を利用した有効利用例

ジャズなどのイベントを開催。

2012 年 ネイチャープラネット(株)が大谷石採石場跡地下空間の地下水が溜まっている箇所を利用してカヤックやカヌーの体験プロジェクトを行い、大谷地下リゾートプロジェクトのモニター調査を実施(図 14)。

2012 年 フェスタ in 大谷 2012,「大谷石あかり展」ほか様々なイベントを開催。

2012 年 宇都宮大学大学院教育学研究科の住環境・まちづくり研究室,工学研究科の岩盤工学研究室,宇都宮市等により Oya マチヅクリ★イベントが開催され,大谷地区内外から約 100 名が参加。

2013 年 フェスタ in 大谷 2013, とちおとめ 25 のパフォーマンスなどのイベントを開催

2013 年 宇都宮大学大学院教育学研究科の住環境・まちづくり研究室,工学研究科の岩盤工学研究室,宇都宮市等により OHYA UNDERGROUND SYMPOSIUM が開催され,大谷地区内外から約 200 名が参加。

2014 年 フェスタ in 大谷 2014, 大谷石を自分で削るなどの加工体験,お囃子・和太鼓教室を開催

2014 年 2014 年ジャパンカップ大谷キャンプ,ジャパンカップサイクルードレースと連携し,大谷地域においてキャンプイベントなどを開催

2015 年 フェスタ in 大谷 2015, 大谷石ふれあい体験,大道芸パルーンショーなどのイベントを開催

2015 年 大谷資料館にて和の都〜宇都宮アートフェスタを開催

4 結 言

この解説記事では、栃木県宇都宮市から産出し、全国で広く利用される石材である大谷石の地質学的、工学的観点からの特性に概略を紹介した。大谷石は石材として、長く使い続けるためには、特に風化に伴う劣化や色調変化が課題である。また、大谷石を切り出したあとに生まれる広大な採石地下空間の存在と、その有効利用のため課題と最近の動向について紹介した。日本の伝統文化を支えてきた天然材料の一つである大谷石の特性やその周辺の話題について理解を深めて頂けると幸いである。

参 考 文 献

- 1) Goole Map, URL : <https://www.google.co.jp/maps/> (Referred May,2017)
- 2) Y. Aita, and T. Sakai, "Landscape and Geology of Oya tuff – Visit to History of Oya tuff, city of Stone Product Utsunomiya", Move Around Modern Architecture and Regional Culture with Oya tuff, pp.14-25, Utsunomiya Museum (in Japanese) (2017)..
- 3) H. Tateno, J. Iimura and T. Seiki, "Consideration to exfoliation for Oya tuff block with microscopic observation", Proc of the 14th Japan Symposium on Rock Mechanics, Kobe, No.103, 6p, JSRM, (in Japanese) (2017).
- 4) T. Seiki, A. Satoh, K. Kikuchi, "Weathering mechanisms and mechanical property changes of Oya tuff", Proc. of 12th ISRM Int. Congress on Rock Mech. Harmonising Rock Engineering and the Environment, Qian & Zhou (eds), Beijing, China, pp. 821-824, (2011).
- 5) T. Orikasa, .K. Tada and T. Seiki, "Consideration on factor for colour tone change of Oya tuff based on colour tone reduction process", Proceedings. of 43th Rock Mechanics Symposium, JSCE, pp.42-47 (in Japanese) (2015).
- 6) T. Seiki, T. Chiba and T. Emori, Study on the Utility Assessment of Underground Quarry for Oya Tuff, Proc. of 1st International Symposium on Travertine, Denizli, Turkey, pp.245-255 (2005).
- 7) T. Seiki, H. Takaba and N. Hasegawa, "Some Considerations on seismic stability of Oya underground quarry", Proceedings. of 2014 ISRM Intl. Symp. 8th Asian Rock Mechanics Symposium Rock Mechanics for Global Issues – Natural Disasters, Environment and Energy -, ERD4-4, Sapporo, Japan, 9ps, (2014).
- 8) T. Inoue, A. Hayasaka, T. Abe and T. Seiki, "Consideration to long term utilization of Oya underground spaces based on evaluation of heat load", Proceedings of Underground Space Symposium, Vol.17, JSCE, pp.211-216, (in Japanese) (2012).
- 9) T. Inoue, T. Seiki, A. Hayasaka and D. Satoh, "Trial for utilization and maintenance of Oya underground spaces for environmental load reduction", Proceedings of Underground Space Symposium, Vol.18, JSCE, pp.165-170, (in Japanese) (2013).
- 10) Oya Musium Official HP, <http://www.oya909.co.jp/> (Referred May, 2017)