

# 建材への道のり

## 第1回

# 素材と材料

工学院大学 教授 田村 雅紀

### 1. はじめに

今月号より、「建材への道のり」と題して、連載をする機会をいただきました。私たちの生活の礎であり、誇り高さ存在として世の中で使用されている様々な建材について、私独自の視点も多少含まれるかと思いますが、皆様と話題を共有できればと思います。

### 2. 素材の誕生

私たちは地球上で長らく社会生活を築いてきましたが、その基盤は、深遠たる地球のさまざまな仕組みに支えられています。しかし、そのような地球の存在について、日常を通じて考える機会には実に乏しいのが現状です。

図1に素材の誕生と出発の概念を示します。周知のとおり、地球は地表の7割が海、3割が陸で覆われていますが、この状態は、地殻表面で起こる火山・造山活動をはじめ、風化・浸食・堆積などの自然現象が太古の昔から繰り返されたためといえます。そして、地球の内部は、ケイ酸塩鉱物(ケイ酸: Si, 塩: 中和物質)を主成分とした岩石の地殻部分と、岩石が溶けたマントルなどにより構成されます。

その一方で、地上に目を向けてみると、上空100km程度までの大気圏は、窒素(N<sub>2</sub>)と酸素(O<sub>2</sub>)が主となる大気が存在しますが、その下にいる私たちが呼吸を通じて生命活動が維持できるのは、太古の昔から植物プランクトン、藻類、植物などの生物が、光合成作用により酸素(O<sub>2</sub>)をこの大地に生みだしてきてくれたからです。例えば、酸素発生型の光合成であれば、水(H<sub>2</sub>O)と空気中の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)から、デンプンなどの炭水化物(C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>)と、水を分解する過程で生じた酸素(O<sub>2</sub>)を同時に生じさせています(化学反応式: 6 CO<sub>2</sub> + 12 H<sub>2</sub>O → C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> + 6 H<sub>2</sub>O + 6 O<sub>2</sub>)。光のエネルギーを化学的な変化のエネルギーに変換し、その生成物で地上の世界を育む根本の役割を、この植物たちが担ってくれました。

このような地球に備わる仕組みは、素材誕生の源流となっています。そして、金属・非金属材料で構成され、成分として炭素を含まない「無機材料」と、木・木質材料・高分子材料などで構成され、成分として炭素を含む「有機材料」を、建築の構成要素として適材適所に用いられるように製造・処理を施して、組み込んでいくことになります。

### 3. 材料の誕生

さて、人間の体は様々な「細胞, 組織, 器官」により成り立っていますが、建築の体といえば、木材, 鋼材並びにコンクリートなどが多用された「材料, 部材, 構造物」により成り立っていると言えます。

そして、人間の寿命を考える際、その多くは、人体の「細胞」を元にした「組織, 器官」が健全であることが大切で、個人の生き方や社会生活の関わり方に大きく影響を及ぼします。同様に、建築の物理的な寿命を考える場合は、例えば、鉄筋コンクリート造建築物は、コンクリートの中性化により鉄筋腐食が阻害されていないか、外装タイルや仕上げモルタルなどの表層材は、適切な状態でコンクリート面に付着し、時に躯体の保護効果なども発揮し得ているかなど、「材料」の性能に

表1 各種建材と国内外における建材歴史のメディア

建材	年代	世界	年代	日本
石	B.C.10000	旧石器時代に農耕文化が始まり、石材の加工が始まる。B.C.25 ローマパンテオンに世界最古となる石造ドームが建造される。	1870年	日本最初の石造灯台・和歌山檜野崎灯台が建設
土壁	B.C.2000～	中国最古の宮殿建築とされる二里头遺跡にて版築が使用される。	6世紀	飛鳥時代 仏教伝来とともに寺院建築などに使用、城郭建築にて堅牢で耐火性に優れ多用される。
スチール	B.C.3000	エジプトで使用確認。18世紀末～19世紀初め 鋳鉄を構造用部材に使用するようになる。	10世紀	踏鞴製鉄が普及。踏鞴は、製鉄に必要な空気を送りこむ送風装置の呼称。1901年 官営八幡製鉄所にて日本初の鉄鋼を生産。
アルミニウム	1782年	アルミナが金属酸化物である可能性が提唱される。1904年 オットー・ワグナーが建築で本格的に使用。	1934年	アルミニウム精錬の開始
コンクリート	B.C.7000頃	イスラエルで石灰コンクリートが使用。B.C.2500頃 エジプト・ピラミッドで目地材にセメントモルタルとして使用。	1875年	日本初のセメント工場でポルトランドセメントが製造
レンガ	B.C.8000頃	古代オリエントにて日干レンガが用いられる。	6世紀	飛鳥時代 仏教伝来とともに技術が伝来する。1857年 長崎にてレンガ製造の国産化が始まる。
ガラス	B.C.4000頃	メソポタミアでガラス質の釉薬が使用。1851年 第1回万博にてクリスタルパレスが建設。	1960年代	フロート板ガラスの製造開始

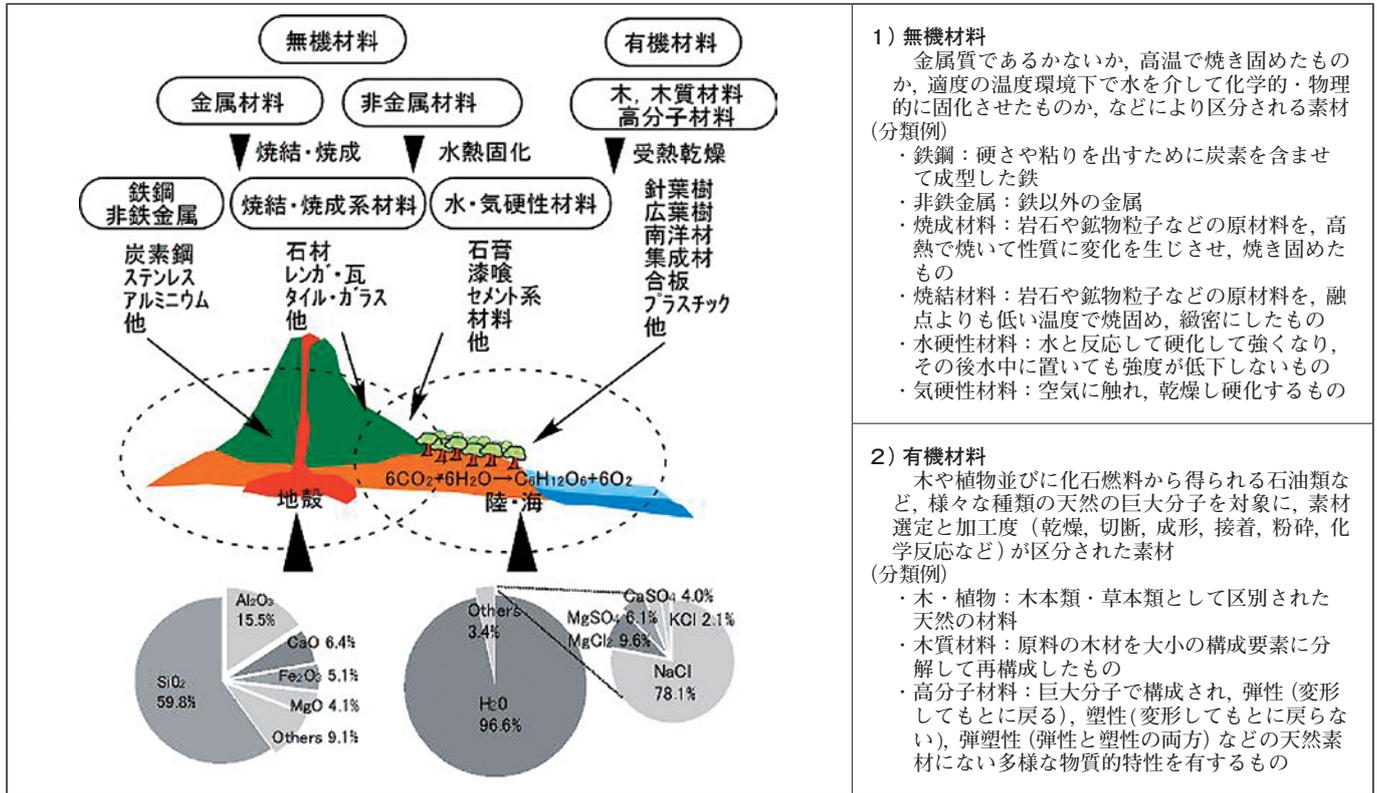


図1 素材の誕生と出発



a) 自然の恵みから得られる素材  
 (小笠原・珊瑚/土佐・塩焼灰/栃木・石灰鉱山)

b) 材料を扱い人の力で建物が育つ  
 (コンクリート打設/セメント水和物の生成/施工中の東京スカイツリー)

図2 材料の起源と建築のはじまり

基づく「部材、構造物」の機能や役割の発現性が重要になります。

このように、建築は最終的には様々な建材を構成要素として、安全で快適な居住空間を形成し、耐久性を高めた上で長らく使用し続けることを目標にしていると言えます。そのために、我々は無機材料や有機材料を区別しながら、目的とする性能・機能に応じて適材適所に建材を使い分ける必要があるのです。

図2にコンクリートを例にした素材・材料の起源と建築のはじまりを示します。この図からも、自然の恵みから素材が得られ、その後、人間により材料の選定、構造物の施工がなされ、やがて建築として成立させる流れを垣間見ることができます。

また、表1に各種建材と国内外における建材の使用の歴史を示します。ここには常に数多くの技術者により、建材から構造物そして建築物へと、施工の技術情報を引き替えた

建築的活動が展開され続けています。そして、この技術情報の蓄積は、建築物の形で積層されていき、やがて建材が使用されてきた歴史として残っていくことになります。このことは、換言すれば、様々な素材・材料が、最終的には建築技術の情報を媒介する「メディア」としても存在していることになり、建材を生み出す担い手は、建築物と同時に、人類史に残るような、建築技術と地球との関わりを見据えた取り組みが行っているかという自らへの問いかけを繰り返すことになるのです。

\* 執筆者

田村 雅紀 (たむら・まさき)

工学院大学 教授

1973年 岐阜県生まれ

専門分野：環境材料学

主要著書：「ベーシック建築材料」

「ものづくりからみた建築の仕組み」



# 建材への道のり

## 第2回 石材編

工学院大学 教授 田村 雅紀

### 1. はじめに

第2回は、石材に関するトピックスを紹介する。今、街を歩けば、石による建材を見かけないことはないほど、世界各地で石材が使われている。今回は、遙か昔から、生活・都市の基盤を形成するうえで重要な役割を担ってきている石材を紹介する。

### 2. 石材の歴史

本稿8月号第1回の「素材と材料」で述べたが、地球表面の3割を占める陸地は、地球内部の地殻構成部よりも軽い岩石成分で構成されることから、いわば、時間をかけて地球の中から外に向けて浮きあがり大陸などとして形成されたものといえる。つまり、陸地全体はある程度まとまった化学組成で

構成され、似たような密度を持つ岩石群により存在している。人類は、そのような大陸の上で、旧石器の時代より農耕を始め、生活を営み、住居を構築するために多様な石を用いてきたと考えられる。やがて後に文明が発達し、ピラミッドなどの巨大建造物に主要材料として用いられ、世界中にあふれる建材としての地位を築くことになる(表1参照)。

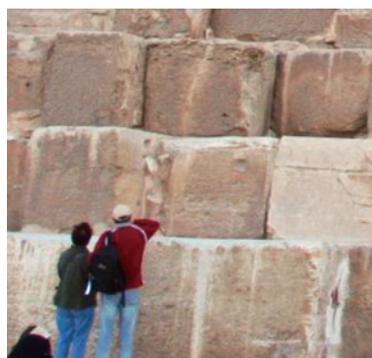
国内では、地域性はあるものの、1900年頃まで建築の歴史といえば石造建築の歴史であったともいえる。構造材料、仕上げ材料ならびに床材料に至る数多くの部位に使用されてきた。近年は、建築の工業化生産の流れの中で、構造材料としての使用ではなく、内外装仕上げ材料を中心に、石材の色彩並びにテクスチャーなどをうまく活かして、建物の意匠的価値、更には景観的価値にまで影響を与える存在となってきた。

### 3. 石材の種類

表2に主な建築石材の種類と性質を示す。石材の成因上の分類は、火成岩(A)、堆積岩(B)および変成岩(C)で構成され、建築・土工石材をはじめ、墓石・工芸品等に加工され、広く社会に流通してきた。その中でも、過去の使用実績が豊富で、建築石材としての性質や施工方法が一般化しやすいものは、花崗岩、砂岩、石灰石、大理石の4種類であり、その性質を体系的に整理することができる。なお、これらに共通することとして、自然石を原料としていることから、機械的な性質におけるばらつきを有している。このため、各部位ごとに使用上の安全性を確保した上で、耐久的な使われ方を提案することが重要な課題となる。

表1 石材に関わる歴史

年	項目
BC10000年迄	石器を用いた農耕文化が始まり、住居にも石が使用されたと考えられる。
BC3500年	メソポタミア文明において、建物の礎石として使用が確認
BC2500年	エジプト文明において、オベリスク、ピラミッドなど巨大石材建造物に使用
BC25年	ローマ・パンテオン、世界最古の教会建築の石造ドーム等に使用



ピラミッドとその石、そして周辺の砂

表2 主な建築石材の種類と性質

種類	見掛け比重	圧縮強さ(N/mm <sup>2</sup> )	曲げ強さ(N/mm <sup>2</sup> )	熱膨張率(×10 <sup>-6</sup> /°C)	ショア硬度
花崗岩 A系	2.5-2.7	90-310	9-39	3.7-6.0	85-100
	火成岩の代表。結晶質で硬く耐久性に富むため、建築の外装を中心に、用途・設計条件に合わせて適切な仕上げが施され使用される。鉱物組成は主に長石、石英、雲母からなり、化学組成はケイ酸質を65～70%以上有している。硬質で加工費は一般的に高い。				
砂岩 B系	2.0-2.6	52-110	7-18	3.7-6.3	20-70
	堆積岩の代表。様々な岩石片が細粒分となり堆積し、異方性がある。ケイ酸塩や炭酸塩を主成分としており、前者は一般に硬く耐久性に富むが、汚れや苔などが付着しやすく、清掃等が必要となる。				
石灰石 B系	1.8-2.9	14-260	4-37	1.7-6.8	10-60
	堆積岩の代表。大理石に変成していない岩石といえる。異方性があり、軟らかく加工性に富む一方、酸性雨による溶出や凍害劣化を受けける場合があり、内装の壁材や床材として用いることが望ましい。				
大理石 C系	2.4-3.2	70-250	4-28	2.7-5.1	45-56
	変成岩の代表。堆積岩である石灰岩が熱と圧力により変性、再結晶化しており、鉱物は無白色の方解石で、炭酸カルシウムを主成分とする。混入鉱物による様々な色彩を有し、表面研磨で彩りのある光沢感が得られるが、化学組成上、酸性雨などで溶出するので内装で用いるのが適切である。なお、大理石の呼称は、中国の雲南省大理府で産出する石材に由来する。				

備考) A, B, Cの記号は、成因区分を簡易に理解するために、本稿で区分したものである

#### 4. 石の製造・性質

写真1に石材の製造・加工の状況を示す。国内における建築石材の大半はイタリア、スペイン、中国などからの輸入品であり、国内の採石量は極めて少ない状況が続いている。

建築石材は、主に天然石と人工石を用いたものに区別される。天然石を用いた建築石材は、JIS A 5003(石材)の規定に基づき、主に板・棒・塊状に成型後、製品化されている。板状の石材は、板の寸法精度と切断効率を踏まえ、大鋸(ガンクソー)や大口径丸鋸(ダイヤモンドソー)などの複数の専用切断機を用いて加工されている。人工の建築石材は、テラゾと擬石があり、テラゾはJIS A 5411(テラゾ)の規定に基づき、裏打ちモルタルに大理石や花崗岩を種石としたモルタルを塗り、振動加圧成型の後、上塗り層を光沢仕上げとして製造されている。

表3に石材種類と表面仕上げ工法を示す。石材の表面仕上げ工法は、のみ切りなどの手加工による伝統的な仕上げから、たたき、びしゃん、ジェットバーナー、割り肌などの手加工または機械加工によるもの、そしてウォータージェット、ブラスト、各種磨きなどのように機械加工に限定し、自動・量産化に対応するものまでの広がりがある。これらの仕上げ方法により、同一産地の石材でも多様な外観を形成することができる。

天然および人工石材は、石材の基本特性と製造方法を理解した上で、建築の外部・内部並びに壁部・床部などの部位に適切に用いる必要があるが、中でも花崗岩は、全ての仕上げ工法に対応が可能な石材で、適用部位もとても幅広く用いられている。



a) 輸入された大理石の原石(1.5×1.5×3.0m程度) b) ダイヤモンドソー切断機



c) 磨き仕上げの状況 d) 研磨後の花崗岩

写真1 石材の製造・加工の状況

#### 5. 石材の施工・使用

最後に、図1に張り石工事の流れを示す。施工計画を皮切りに、材料の選定、石材の加工、製品受入検査がなされた後、外壁の場合は外壁湿式・乾式工法や石先付けPC工法を、内壁の場合は内壁空積工法を、内・外部の床・階段の場合は床階段湿式工法を適用する。

工事における安全性、施工性、経済性などの観点から、外壁乾式工法の場合、石材は厚さ30mm以上、幅・高さは矩形

表3 石材種類と表面仕上げ工法

	手加工	手加工または機械加工				機械加工				
	のみ切り	びしゃん	こたたき	ジェットバーナー	割りはだ	ウォータージェット	ブラスト	粗磨き	水磨き	本磨き
花崗岩	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
大理石	—	—	—	—	○	—	○	○	○	○
砂岩	—	—	—	—	○	—	○	○	○	—
石灰岩	—	—	—	—	○	—	○	○	○	○
テラゾ	—	—	—	—	—	—	—	○	○	○
擬石	—	—	○	—	—	—	○	—	—	—

解説図

のみ切り仕上げ

びしゃん仕上げ

こたたき仕上げ

バーナー仕上げ

割り肌仕上げ

水磨き仕上げ

本磨き仕上げ

手加工

手加工または機械加工

機械加工

備考) ○：標準 —：標準外

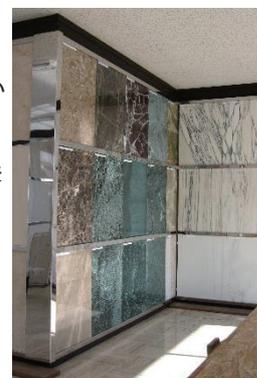
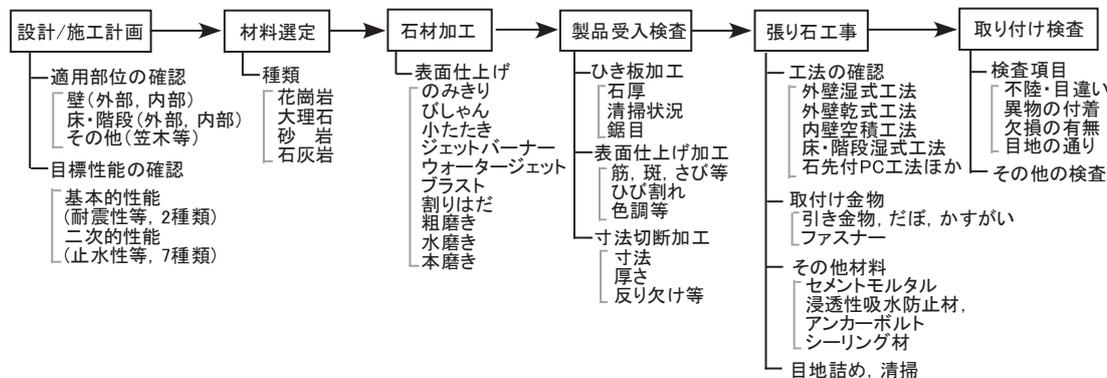


図1 張り石工事の流れ

形状1200mm以下、石材面積0.8m<sup>2</sup>以下、重量70kg以下を標準に定めるなどの配慮が必要となる。

石材と躯体との取り合いに関しては、ステンレス鋼(SUS304)による接合金物(ファスナー、引き金物等)の取り付け手順および施工上の留意点などの確認が必要であり、建物の躯体保護機能をはじめ、使用・維持管理の容易性、更には意匠性などに至る多様な要求を満足するように施工を

行う必要がある。

以上により、建築の内外装を守り・彩りを生み出す張り石壁による空間が成立する。そのテクスチャーは、表面仕上げ工法の違いはもとより、岩石の成因や鉱物・粒子の色や粒径・寸法などの影響も受けることから、発注・設計・施工・使用の立場にある関係者等による、長期的で多様な観点からの仕上がり性能を満足させることが重要となる。

## 【解説】

解説表1 主な石張り工法とその概要

目標性能		概要
外壁	外壁湿式工法	外部からの衝撃に強いため、外壁乾式工法の1階部分などを高さ10m以下の外壁に取り付ける工法であり、石材厚さ70mm以下30mm以上、石材面積0.8m <sup>2</sup> 以下の花崗岩の使用が標準となる。取り付けはコンクリート面への埋込アンカーに接続する流し筋を用いた工法等により、緊結下地にステンレス鋼(SUS304)による引き金物を介して石材と接合し、裏込めモルタルを全面に打ち込み張り付ける。なお、裏込めモルタルの収縮、汚れの問題をはじめ、工期の長期化ならびに壁面の変形追従性等の問題により、施工数が減少する傾向にある。
	外壁乾式工法	花崗岩の使用を原則とし、石材をコンクリート下地である外壁に乾式で取り付ける工法であり、石材厚さ30mm以上、幅・高さは矩形形状で1200mm以下、石材面積0.8m <sup>2</sup> 以下、重量70kg以下を標準としている。取り付けはステンレス鋼(SUS304)の金物を用い、耐震性はファスナーの層間変位追従性で、耐風圧性はだぼの固定耐力で確保する。取付け高さは、足場工事に関わる基準類を踏まえ45m程度以下が限界である。
	石先付けプレキャストコンクリート工法	花崗岩の使用を原則とし、石材をプレキャストコンクリート部材に先付けし、非構造部材のカーテンウォールとする工法。取り付けはステンレス鋼(SUS304)のシアコネクターを用いる。部材の重量が嵩むために、コンクリートは特記がない場合は軽量コンクリートI種とする。部材表裏の乾燥収縮量が異なるため、剛性を高める配慮などが必要となる。
内壁	内壁空積工法	内壁に一般的に用いられる工法であり、取り付け高さは天井高さ4m以下、石材厚さ20mm以上、矩形形状で面積が0.8m <sup>2</sup> 以下を標準とし、石材種は、風雨に曝されないため、花崗岩に加え大理石も用いられる。下地と石材は引き金物により緊結し、そのまわりを圧縮材として機能する取り付け用モルタルで被覆し、残りは空洞とする。
内部・外部	床・階段湿式工法	建物の内外部の床・階段に石材をモルタルもしくはペーストによる湿式で取り付ける工法である。床・階段は、足裏や靴等を通じ、直接人体に接する部位であるため、石材の摩耗性、防滑性、排水処理、段差等に留意する必要がある。石材の含水の影響を避けるための浸透性吸水防止材や、張付モルタル等の接着力低下を避けるための石裏面処理材等を適切に使用する必要がある。

備考) 日本建築学会、建築工事標準仕様書・同解説 JASS9張り石工事を参照

国内では、伝統的木造建築において、掘立柱から石場建てへ変化を遂げたことは建築構法の重要な転機を与えたものといえよう。日本建築学会では1960年に石工の標準仕様書が制定されているが、仕様書の序で「従来、石工の仕様は明確を欠く点が多く、施工の段階においてしばしば困惑する場合もあった」と記され、近代的な建築生産技術として確立する上での苦心が伺える。現在は、解説表1に示したとおり石工をめぐると材料・工法は合理的な変化を遂げているとはいえ、さらには躯体との接合方法や構法の変化に伴う新しい加工・適用方法などが生まれつつある状況にある。

### 【参考文献】

野口貴文、今本啓一・兼松 学・小山明男・田村雅紀・馬場英実、ベーシック建築材料、彰國社、2010。

### \*執筆者

田村 雅紀 (たむら・まさき)

工学院大学 教授

1973年 岐阜県生まれ

専門分野：環境材料学

主要著書：「ベーシック建築材料」

「ものづくりからみた建築の仕組み」



# 連載 建材への道のり

vol.3

## 土 編

工学院大学 教授 田村雅紀

### 1 はじめに

第3回は、土に関するトピックを紹介する。土といえば、古来より伝わる自然素材であり、数寄屋造の上塗り仕上げには簡素な意匠上の美しさを、城郭建築の荒壁には頑強な構造的性質を、そして市中の土蔵建築には土壁の耐火性を伴う保存機能をもたせるなど、広く建築材料として普及を果たした。長きに渡り築かれたその歴史的な歩みは、今も多くの土壁を有する建物の姿から垣間見ることができる。

### 2 土壁の歴史

表1に土壁の歴史を示す。土は、農耕文化の始まりとともに建築材料にも使い始められるようになり、やがて土壁として社寺建築などに多用され、その耐火性、頑強性、さらには意匠性などの性質が見出されるようになっていった。この、「土による壁(土壁)」の主構成材料は粘土であるが、粘土自身は、その字面にあるように「膨潤に水を含む」ことで成り立つ粘り気のある物質であり、世界の多くの地域で採取・使用が可能といえる。太陽系の惑星の中で水の存在が確認されているのは地球のみであり、水成堆積物として地球上に存在する粘土は、いわば「地球唯一材料」である。

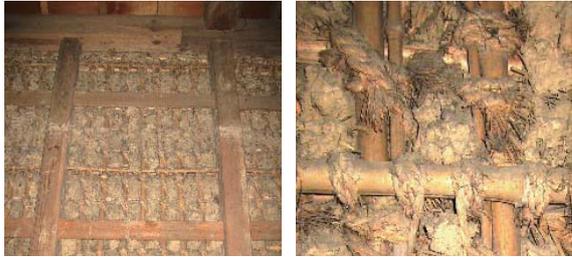
表1 土壁の歴史

年	項目
縄文時代中期 紀元前3000年頃	農耕が始まり、堅穴式住居などの原初的な建物が発達した。土塀や版築などが幅広く利用された。
飛鳥時代	仏教伝来と共に大陸から移入された仏教建築に土壁が用いられた。世界最古の木造建築物である奈良・法隆寺では、建物や塀などに土壁や版築が多用された。
南北朝・室町時代	城郭建築において、堅固で耐火性に優れた荒壁仕上げが多用された。
現在	伝統的工法の保存とともに、素材の色彩の豊かさや機能性を再現する土壁建築が復興している。

### 3 壁土の種類

表2に壁土の種類を示す。ここでは壁土の種類を、木舞壁下地に最初に塗る荒壁土、荒壁の上に塗る中塗土、最終的な表面仕上げとなる上塗土により分類した。ちなみに、上塗土に関しては京都の本聚楽土が有名であるが、これは安土桃山時代末に豊臣秀吉が建てた邸宅跡地である聚楽第の周辺(現在の京都市上京区)で採取される良質な土を指す。

表2 壁土の種類

荒壁土(下塗り用)
<p>木舞壁の下地に最初に塗る土を荒壁土という。荒壁は構造物そのものであり十分な強度が必要となる。土粒子を長めのすさとともに、1週間以上水合わせを行い下塗り用壁土とする。関東では荒木田土が有名であるが、これは関東ロームの堆積により良質な粘土がとれないため、粘土質を多く含む荒川の荒木田原と呼ばれていた場所の土を多く用いたためである。</p> 
中塗土(中塗り用)
<p>荒壁の中塗り、ムラ直しなどに使用される。10mm程度以下の土粒子を用いて水合わせをし、鏝さばきで支障がないような粘性とした上で薄塗りを効用する。関東では荒木田土と左官砂を2対1程度の割合で割合して用いる。</p> 
上塗土(仕上げ用)
<p>中塗土の上に施す仕上げ塗りである。全国各地に色土の産地がある。色土は化学顔料では表現できない個性的な色彩とすることができ、明度や色相の違いなども多様に表現できる。代表的なものに、聚楽土、桃山土、錆土、稲荷山土ほか多数がある。</p> 



続いて、**図2**に粘土の硬化過程を示す。綿毛構造を多く含む粘土鉱物は、飽和水が十分に含まれた膨潤状態から、乾燥に伴う水分蒸発により、粒子相互の界面張力が高まり、最終的に短冊状に凝集して硬化する。なお、上塗土の場合、一般に藁すさや砂などを含ませることで、水分蒸発に伴う粘土粒子の収縮変形を抑え、ひび割れが生じないようにするが、意匠技法のひとつで、あえて粘土分の収縮量が増えるような調合にして、微細なひび割れを亀甲状に発生させるものもある。

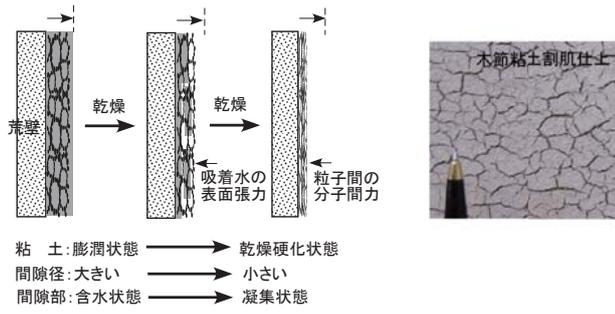


図2 粘土の硬化過程

## 5 壁土の施工・使用

**写真1**に壁土の採取状況と主な使用材料を、**図3**に土壁工の一般的な工程を示す。粘土は、沖積地の地層が露出した粘土層から採取され、天日による乾燥処理の後、製土工場にて粉碎・乾燥・粒度調整などの製品化処理を行う。なお、50 μm以下の良質な粘土層の分布は地域的な偏りがあるが、良質な粘土が採取可能な土地では、壁土用はもとより、工芸用、陶磁器用をはじめ、瓦・レンガ・タイル用など、様々な用途の粘土が採取可能となり、主要な窯業系材料の産地として成り立っている。



写真1 壁土の採取状況と主な使用材料

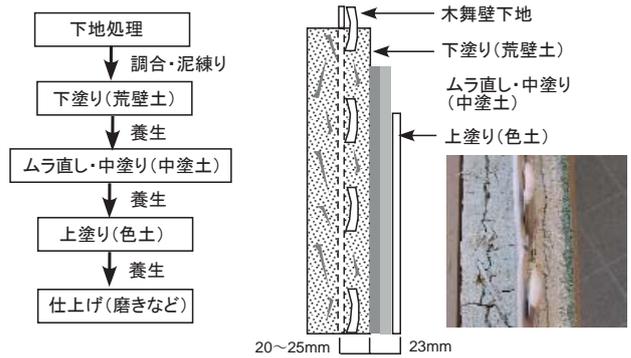


図3 土壁工の一般的な工程

土壁の施工では、まず壁を構成する下塗り、中塗り、上塗りごとに調合の特徴があることを理解する必要がある。その上で、適用箇所、用途ならびに作業性を踏まえ、壁土に対し、砂、消石灰、のりを適切に選定し、十分な水合わせの期間を踏まえて施工を行う。

荒壁の下塗りは、貫に木舞として割竹や細竹を組付け、わらすさを含む荒壁土を施工し、十分に養生・乾燥させて、厚みを持った頑強な構造体を造る。下塗り後は、荒壁と同等の材料を用いて中塗りを施し、同じく養生・乾燥をさせる。上塗りは、色土、消石灰入りの壁土などを施して仕上げている。

近年、土壁を用いた数多くの歴史的な木造建築の改修工事が増えている。そこでは、屋根葺き材として使用されてきた古土を廃棄することなく、再び粘土材料として有効活用する場合がある。一度長期にわたり使用された壁土が、乾燥収縮の低減や、強度増加に寄与する性質を見出しやすいことに加え、元来、安全で健康な材料で、材料資源としても循環利用が可能であることが再認識されているためであろう。土材料は、今後、長寿命で快適な建築を考える上でも、重要な意味を説いているかもしれない。

### 参考文献

- ベーシック建築材料, 野口貴文, 今本啓一, 兼松 学, 小山明男, 田村雅紀, 馬場英美, 彰国社, 2010
- 日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説 JASS15 左官工事 中村伸: 日本壁の研究, 相模書房, 1954
- 左官事典, 社団法人日本左官業組合連合会, 2004年



### profile

田村雅紀

Masaki Tamura  
工学院大学 教授

1973年岐阜県生まれ  
 専門分野：環境材料学  
 主要著書：「ベーシック建築材料」,  
 「ものづくりからみた建築の仕組み」

## レンガ編

工学院大学 教授 田村雅紀

### 1 はじめに

第4回は、レンガに関するトピックを紹介する。地球の地殻・表層材料である岩石、粘土などには、ケイ酸塩無機鉱物が多く含まれており、今日まで、建設業、電子機械産業ならびに化学工業など、様々な分野でこれらを製品原料として用いてきた。レンガも、こうした粘土などを成形した後、高温で熱処理し、焼結体となった陶磁器製品であり、製造上の加工度が小さいことから、廃棄原料が少なく、原料の材料的性質が製品特性に現れやすい建材といえよう。

### 2 レンガの歴史

表1にレンガに関わる歴史を示す。レンガの歴史は、紀元前8000年における日干しレンガの登場に端を発し、数千年を越える時を経て、世界中で建築の内外壁材料などにも多用されてきた。国内では、仏教伝来とともに、大陸からレンガ製造技術が導入され、その後、東京駅丸の内駅舎をはじめ、法務省旧本館など、いわゆる赤レンガ特有の古風美が歴史と景観に彩りを与えてきた。

表1 レンガに関わる歴史

年	項目
BC8000年	エジプト、メソポタミアなど、古代オリエントで、成形した粘土を乾燥させた日干しレンガが登場
BC3000年	モヘンジョダロの遺跡で、焼成レンガが作られる
538年 飛鳥時代	中国からの仏教伝来に伴い、東洋のレンガを表す「磚(せん)」の技術が伝わる
1857年 江戸時代	長崎において国内初のレンガが製造される
1872年 明治時代	英国人建築家ウォートルズの指導により、銀座煉瓦街が建設される
1925年 大正時代	日本工業規格で、普通レンガの寸法が統一される

### 3 レンガの製造

写真1にレンガの製造工程を示す。レンガは、水・粘土・砂などを調合し、土練機で練り上げ、押出成形機に送

る。吐出された成形板をピアノ線で所定の寸法に切断した後、焼成・空冷してレンガ製品となる。

一般に、粘土製品の焼成方法は、トンネルキルンが登場した1960年代は、燃焼時に空気を送り込む酸化焼成方式が主流であったが、現在は導入空気を制限した上でガス燃焼させる高温還元焼成方式が多い。酸化焼成の場合、粘土中に含まれる鉄分等の発色性のある無機成分が十分に酸化した状態( $Fe_2O_3$ などの黄～茶色)となり、工業的に数多く生産される一般的な赤色のレンガは、空気を送り込みながら重油等の熱源を効率よく用いて高温にし、酸化焼成されることで得られる。

なお、還元焼成の場合、酸素量が不足することで一酸化炭素が発生し、一酸化炭素の還元作用により鉄分等は価数が小さくなった酸化状態( $FeO$ などの濃青～緑色)となる。



a) 練り土の様子

b) ピアノ線による押出材(ここではレンガ調タイル)の切断例



c) 焼成前のレンガ

d) トンネル型キルンによる焼成

写真1 レンガの製造工程

### 4 レンガの種類

図1にレンガの種類を、表2にレンガの用途別分類を示す。レンガの形状・寸法・品質は、JIS R 1250(普通れんが及び化粧れんが)、JIS A 5210(建築用セラミックメーソリーユニット)などで規定されている。湿式で練り合わせし、加圧押出を行った湿式成形品と、粘土の粉体原料を型に入れて加圧する乾式成形品に大別される。

普通レンガは、建築、土木、外構材などに用いられ、レンガの基本単位となるおなま(215×100×60mm)とその小割りによる複数の形状と断面の要素を用いて、様々なレンガ壁・レンガ床などを組み立てることができる。また、JIS R 1250では、吸水率(15%以下、13%以下、10%以下)と圧縮強さ(15N/mm<sup>2</sup>以上、20N/mm<sup>2</sup>以上、30N/mm<sup>2</sup>以上)により3種類の品質区分がなされている。

表2 レンガの用途別分類

分類	材質	製法	呼び名	構法
壁用	主に 陶器質 せり器質	主に 湿式成形	普通レンガ	積み張り(中実・中空)工法 組積(無筋)造 各種レンガ外構
			建築レンガ セラミックブロック	補強レンガ構造 セラミックブロック造 帳壁、堀、擁壁など
床用	せり器質	湿式成形 乾式成形	建築レンガ 普通レンガ	モルタル敷き床構法 サンドクッション床構法

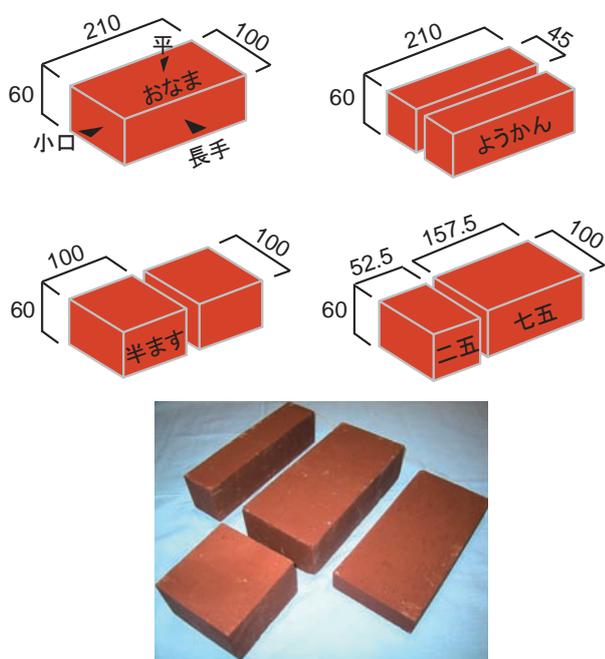


図1 普通レンガの種類

大きく確保して行う工事は減少している。一方で、レンガ中空積み工法や補強レンガ工法などを適用して、壁の剛性と復元性を確保し、耐震性を改善する取り組みも行われている。世界に広く普及したレンガとその建物の歴史を新たに紡いでいくための挑戦を続ける必要がある。

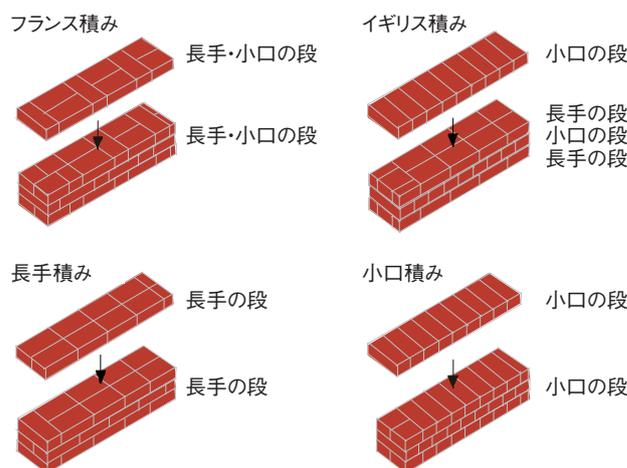


図2 壁張り用のレンガ積み工法

## 5 レンガの施工

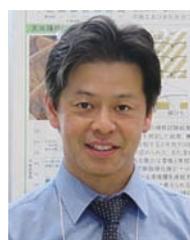
図2に壁張りのレンガ積み工法を示す。レンガは構造体ならびに内外装仕上げ材として扱われ、レンガの種類と積み張り工法は多様に存在する。

レンガ積みを行うための割付けに関しては、壁構造とする場合、外力に対する目地に沿った破壊進展を避けるため、縦方向の目地が一直線に並ぶ芋目地にならないような割付け計画が必要となる。なお、実際のレンガ積みでは、芋目地を避けた合理的な積み方は限られており、国内ではフランス積みとイギリス積みが普及した。フランス積みはフランドル地方で完成した積み方で、壁面を見るとレンガの長手と小口が交互に積み、意匠的に華やかな図柄を表現できる。イギリス積みはイングランド地方で発達した堅牢な積み方であり、レンガの長手だけの段と小口だけの段が一段置きに現れる積み方である。

現在、フランス積みやイギリス積みなどにより壁厚を大

### 参考文献

- ベーシック建築材料, 野口貴文, 今本啓一, 兼松学, 小山明男, 田村雅紀, 馬場英美, 彰国社, 2010
- マテリアル・デザイン 2009-2010 建築の素材・材料チェックリスト, 彰国社, 2009
- 日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説 JASS 15 左官工事



### profile

田村雅紀

Masaki Tamura  
工学院大学 教授

1973年岐阜県生まれ  
専門分野：環境材料学  
主要著書：「ベーシック建築材料」,  
「ものづくりからみた建築の仕組み」

# 連載 建材への道のり

vol.5

## 瓦 編

工学院大学 教授 田村雅紀

### 1 はじめに

建物の屋根は、古くから茅（カヤ）や藁（ワラ）などの草本類や、柿（こけら）や檜皮（ひわだ）などの木本類などを素材として使用した葺き屋根が多くを占めていた。これらは、いわば地球最大の有機物であるセルロースで構成されることから、世界各地での使用を可能にしたといえるが、

実際には紫外線による化学的劣化や腐朽などの生物的劣化が生じやすく、長期的な維持には葺き替えなどの更新の仕組みが必要であった。そのような状況下で、レンガなどのセラミックスの焼成・成型技術の発展に従い、粘土瓦が誕生した。粘土瓦は、国内では社寺建築から洋館建築、更には現代住宅に至るまで、屋根材料として広範に普及し、地震防災にも関係する建物の安全性の確保と寿命の拡大に大きな影響を及ぼした。

### 2 瓦の歴史

表1に瓦に関わる歴史を示す。今より3000年ほど前に建物に使用された世界最古の瓦が中国の宮殿遺跡より出土している。日本では6世紀頃に本葺瓦の製造技術が伝わり、屋根の架構技術の発展と合わせて瓦の利用が拡大した。

表1 瓦に関わる歴史

年	項目
BC800年頃	中国、陝西省の宮殿遺跡より、建物の瓦が採掘される
588年頃 飛鳥時代	百済との交易を通じ、本葺瓦の製造技術が伝わる
593年 飛鳥時代	奈良・元興寺の極楽坊禅室と本堂の瓦葺きが日本最古となる
1600年代 安土桃山時代以降	城・屋敷・土蔵に使用、火事対策で民家にも使用されるようになる 丸瓦と平瓦が一体化した棧瓦が登場する
1877年 明治時代	工部省により、棧瓦の裏側に突起を付け、棧木に直接固定する引掛棧瓦が登場する



写真1 奈良・元興寺の瓦葺屋根

表2 材質・製法による区分

材質区分	特徴	製法区分	
粘土質	土・砂で水合わせをした粘土を、加圧により瓦形に成型し、乾燥後、高温焼成（1000℃前後）する。	無釉系	粘土を成型・乾燥後、釉薬を施さずに焼結させる。吸水しやすいため、雨の多い地域や寒冷地などでは注意を要する。広くは素焼瓦とも言われ、自然な色調をもつテクスチャーとなる。
		いぶし	広く知られる「いぶし銀」の名の由来となる。プタンガス等を含むガス燃焼により、瓦表面に銀色の炭化被膜を形成させる燻し処理（Smoked）を行い、瓦の変色・退色を防ぐ。古くは松材・葉を用いて行っていた。
セメント質	最も一般的な粘土瓦である。金属酸化物を主体とした焼結固体が形成された面に、表面処理（施釉薬等）し、製品となる。	釉薬系	成型・乾燥後に、表面にガラス質の釉薬を施して焼成し、様々な発色を可能とする。長石釉は、K、Naなどのアルカリ分を多く含み、高温溶融させる一般的な釉であり、1200℃程度で高温焼成して成型する石州瓦に多く用いられる。フリット釉は、ホウ素を多く含む硝子を主成分とした低温釉であり、1100℃程度で焼成し成型する淡路・三州瓦に多く用いられる。
	水・セメント・砂・繊維などを使用し、寸法・形状・重量などを決め、水和固化体として成型・養生する。	厚形系	JIS A 5401セメントがわら（1990年1月1日廃止）は、硬質の細骨材と各種セメントを用いて、セメント：砂比=1：3程度で製造される。 JIS A 5402プレスセメントがわらは、過去には厚形スレートと称され、セメント：砂比=1：2程度で製造される。セメント瓦と比較し強度が高く吸水率が低い。
	表面処理（吹付け塗装、釉薬焼付け塗装等）を行い、製品となる。軽量で廉価であり、耐久性を除けば性能的に粘土瓦と同等となる。	スレート系	JIS A 5423 住宅屋根用化粧スレートは、鉱物質の添加材を加えた各種セメントに、引張抵抗性を持たせる各種繊維（耐アルカリ性ガラス繊維等）を混入してプレス成型し、蒸気養生して強度を高めている。

備考) 高分子系（シングル：基材フェルト紙の両面にアスファルトを塗布、表面に色砂を圧着した屋根材）、自然素材系（草木類、皮類、板類、石材類）その他（ガラス瓦、金属瓦、FRP）などは含めない

表3 形状・系統による区分

形状	特徴	系統	特徴
J形	平瓦と丸瓦を1枚の瓦とし、日本瓦として伝統的に使われてきた形状の瓦 (JIS A 5208粘土がわらで形状が規定)	和風	本瓦、棧瓦、軒瓦、袖瓦、のし瓦、角瓦、とめ瓦、鬼瓦など
F形	J形瓦にある凹凸をなくし、平面に近いフラットの形状に近づけた瓦 (JIS A 5208粘土がわらで形状が規定)		
S形	明治時代以降に登場した下丸瓦と上丸瓦によるスパニッシュ瓦を一体化させた形状の瓦 (JIS A 5208粘土がわらで形状が規定)	洋風	スパニッシュ瓦、ローマン瓦、S型瓦、フレンチ瓦
本葺形	平瓦と丸瓦を交互に組み合わせ葺く形状の瓦。本葺瓦が伝来した後に、棧瓦が登場するまで多用された。	その他	平板瓦、波形瓦、軽量瓦など

### 3 瓦の種類

表2に材質・製法による区分を、表3に形状・系統による区分(粘土瓦)を示す。

窯業系瓦に着眼した場合、その原料は、粘土もしくはセメントを使用するものに区分され、力学特性や耐久性ならびに表面処理方法などの基礎的な性質・製法が特徴づけられている。双方ともに、原料段階における加工の自由度が大きいため、伝統的な本葺瓦をはじめJIS化されているJ型、F型、S型など、様々な形状の瓦を製造することができる。また、瓦葺屋根の全体の印象に関しては、和風、洋風など幅広い系統の屋根とすることができる。図1の瓦の形状による区分(粘土瓦)からも様々な形状の瓦により屋根架構が成立することが理解できる。

図2に住宅用屋根材の品種別割合を示す。粘土瓦、住宅

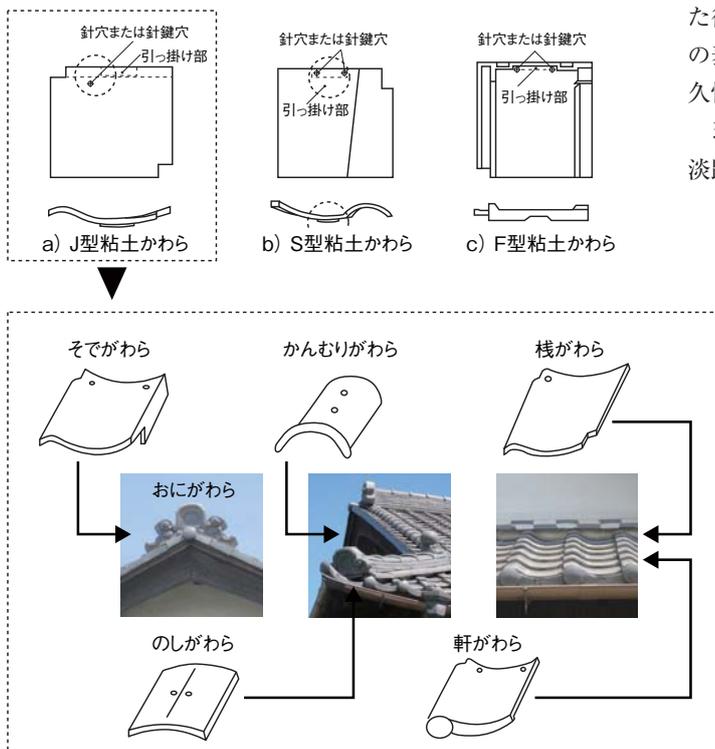


図1 瓦の形状による区分(粘土瓦)

屋根用化粧スレートなど、いわば窯業系が多くを占めるが、それ以外の材質の瓦(金属系、樹脂系、自然素材系ほか)も多数用いられていることから、建物の用途や設計意図に合わせて瓦を選定・使用する必要がある。

### 4 瓦の製造・性質

図3に瓦製造の流れ(窯業系瓦)を示す。

粘土瓦は、原料の練混ぜ、加圧による成型および乾燥処理の後に、表面仕上げのための前処理(施釉)を施し、1000℃前後の焼成工程を経て製品となる。粘土瓦は、焼成により全面にかけて微細なひび割れが生じやすく、無釉製品などは冬期に材料が吸水した場合の凍結融解抵抗性の低下に留意する必要がある。現在、国内では釉薬瓦の販売量は粘土瓦の約7割を占める状況となっている。

セメント瓦は、粘土瓦と同様に、原料の練混ぜ、加圧による成型の後、蒸気養生を行い十分にセメントを水和させた後に自然乾燥させ、最後に静電塗装や焼き付け塗装などの表面塗装を施して製品となる。価格が廉価であるが、耐久性を除き、粘土瓦と性能的には同等となる。

現在、窯業系瓦の大部分は三州(愛知)、石州(高根)、淡路(兵庫)の3大産地で製造されている。

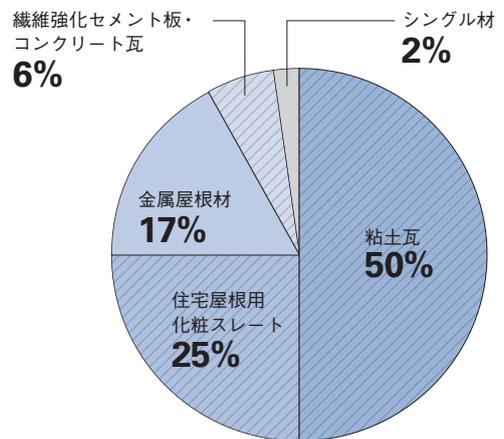


図2 住宅用屋根材の品種別割合(窯業系瓦を網掛けて示す。)

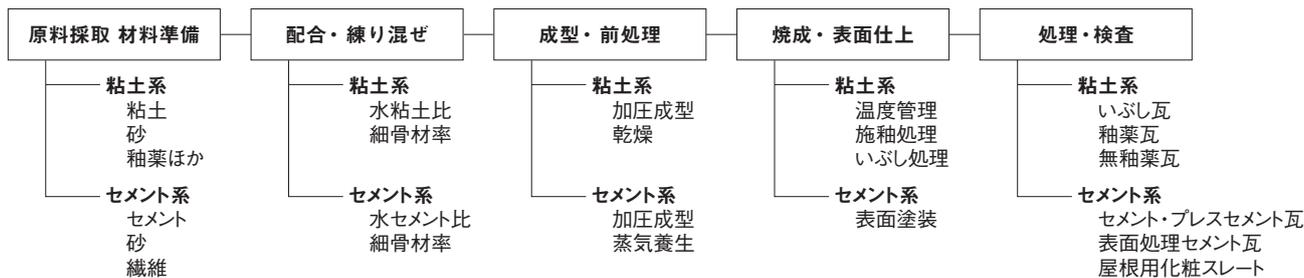


図3 瓦製造の流れ(窯業系瓦)

表4 屋根葺材の主な要求性能

要求性能	内容
耐震性	屋根葺材と野地板との接合が十分に確保され、かつ材料が軽量であること
防火・耐火性	屋根葺材自体が不燃材であり、着火や発炎が生じないこと
耐風・耐衝撃性	屋根葺材に強度があり、風の吸引や吹上げによる破損・変形・飛散の恐れがなく、飛来物の衝撃に耐えること
防水性	屋根葺材により雨水等が野地板まで通過することがなく、速やかに流下、排出すること
耐候・耐久性	気温の変化、日射、雨水、大気中の汚染物質等がもたらす物理的、化学的風化作用に対して、腐朽、虫害を生じずに長持ちであること
断熱性・省エネ性	寒暑など、外気温が内部空間に作用する熱伝導を防止・緩和すること
耐凍害・耐寒性	屋根葺材自体の吸水率が低く、冬期の積雪・寒さ・凍結融解作用に耐えること
景観性	屋根全体の形状と色彩が周囲の景観と調和していること

表5 窯業系瓦における屋根葺工法

工法	内容	概略図
引掛棧瓦葺工法	<p>明治時代の1877年、工部省営繕課より、野地板の上に、垂木に垂直な方向で瓦棧木を固定し、棧瓦の裏側に突起を付けた引掛棧瓦を引っかけて釘で確実に固定する新しい工法が提案された。</p> <p>これにより、地震時の瓦の落下被害を大幅に減少させると同時に、瓦屋根の総重量を軽減(土葺工法に比べ半分から1/3程度)することができた。</p> <p>近年は耐風性の向上の観点から、釘やビス等で全ての瓦を緊結する全数緊結の実施と、中空部分を接着性を有するポリウレタンフォームで充填し、瓦同士と棧木の一体化を図る等の工夫がなされている。</p>	

## 5 瓦の施工・使用

瓦の施工は、屋根工事の仕上げ工程ともいえるが、実際には仕上げ工程のみでなく、下地材を含めた屋根葺材全体に関係するものとして捉える必要がある。

表4に屋根葺材の主な要求性能を示す。これらの要求性能は、建物を長期にわたり安全に使用する基礎的条件といえる。なお、下葺材は、瓦等の屋根葺材のみで屋根の防水を達成することが困難であることから、屋根全体の防水性を補助するものと考えられる。また、透湿性を備えた下葺材は、建物使用時における野地板表面の結露防止等の役割も担っている。

表5に窯業系瓦を対象とした屋根葺工法の例を示す。明治時代に登場した引掛棧瓦葺工法は、窯業系瓦の代表的な施工法といえ、引掛棧瓦を野地板の上に取り付けられた棧木に釘で確実に固定する。葺き土を使用しないことから大幅な軽量化が果たされ、建物の耐震性能は大きく改善されていった。

過去の大震災で、瓦屋根が重くて危険だとする認識が生

じた時期もあったが、現在は更なる安全性の確保に加え、瓦を屋根のみではない壁や床の部位に展開させるような用途開発、そして日本らしさに結びつく伝統の継承も大切にするような地道な取り組みが続けられている。

### 参考文献

ベーシック建築材料, 野口貴文, 今本啓一, 兼松学, 小山明男, 田村雅紀, 馬場英美, 彰国社, 2010  
日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説 JASS 12 屋根工事



### profile

#### 田村雅紀

Masaki Tamura  
工学院大学 教授

1973年岐阜県生まれ  
専門分野: 環境材料学  
主要著書: 「ベーシック建築材料」,  
「ものづくりからみた建築の仕組み」

## タイル編

工学院大学 教授 田村雅紀

### 1 はじめに

タイルとはラテン語のテグラ (tegula) を語源とした用語で「覆う」「被せる」といった意味を持つ。国内では、1922年東京にて、第一次大戦後の社会の平和と発展に向けて開催された平和記念東京博覧会の際、様々な呼び方がされていたものが「タイル」として統一された。その後、100年に及ぶ歴史を経て、日本の多様な気象においても劣化や変色がなく、酸やアルカリなどの化学的作用や、火熱・磨耗への物理的作用に抵抗し、建物を覆い、守り、彩りを与える役割を果たしてきた。このように建物の外皮を「仕上げる」というタイルの普遍的な機能について概説をする。

### 2 タイルの歴史

B.C.3500年頃に、今日の施釉タイルと同様の構成をしたタイルがエジプトで作られて以来、後世に技術が継承されている。国内では、初めてタイルが登場するのは飛鳥時代であり、仏教伝来の後、瓦の製造を端緒に、寺院建築等に

表1 タイルの歴史

年代	内容
B.C.3500年頃	エジプトで施釉タイルが発見される
6世紀	イスラムでモスク・宗教建築に施釉タイル・モザイクタイルが使用される
1863年	長崎グラバー邸にイギリスからの輸入タイルが使用される
1908年	乾式成形法による硬質陶器質タイルが製造される
1922年	国内で多様な名称が「タイル」に統一される (敷瓦、腰瓦、壁瓦等)

表3 主なタイルの品質

品質項目	主な条件
外観	個々のタイルの欠損、タイル相互間の色調・光沢など
形状	定形タイル・不定形タイルにおける平物・役物の形状など
寸法	長さ、幅、厚さ、ばち、反り、直角性、役物角度
裏あし	張付け材による区別 (セメント系、有機系)、裏あし形状 (あり状)、裏あし高さ (0.5~3.5mm) など
吸水率	I類: 3.0% 以下、II類: 10.0% 以下、III類: 50.0% 以下
曲げ破壊荷重	使用部位 (屋内壁、屋内床・浴室床、屋外壁、屋外床) ごとに定める荷重値 (N)
耐久性・使用性	耐摩耗値、耐熱衝撃性、耐貫入性、耐凍害性、耐薬品性、耐滑り性ほか

屋根瓦、腰瓦、敷瓦として使用された。その後は、明治時代の文明開化に伴う都市形成と鉄筋コンクリート建築物への使用が好機となり、現在の多様な形でのタイルの普及・展開に繋がっている。

### 3 タイルの種類

国内におけるタイルの公的規格は、1929年に日本標準規格 (JIS) が制定され、1957年に JIS A 5209 タイルが制定された。その後、ISOの国際規格への整合化の影響を受け、2014年に JIS A 5209 セラミックタイルへと改正されている。

表2にタイルの種類を示す。吸水率、成形方法、うわぐすりの有無により種類が分かれており、屋内外の壁・床など幅広い部位の仕上げ材として使用される。なお、屋外用タイルに関しては、耐侯性に優れることが求められ、吸水率が低い I 類 (磁器質に相当) あるいは十分に焼き締めた II 類 (せつ器質に相当) のものが使用される。

### 4 タイルの品質

表3に主なタイルの品質を示す。仕上げ材であるタイルの品質に関しては、製造工場で適切な品質管理を経た後に、実際に製品として建物に使用され、一定期間を経た後においても、内外装の保護材としての要求性能を満たし、長期に渡り建物の健全性を保持することが求められる。換言すれば、製造者における「ゆりかごからゲートまで」の段階から、使用者を意識した「ゆりかごから墓場まで」の

表2 タイルの種類

記号	吸水率*	成形方法	うわぐすりの有無
I類	3.0% 以下	押出し成形 (A) プレス成形 (B)	施ゆう 無ゆう
II類	10.0% 以下		
III類	50.0% 以下		

ライフサイクル全体におけるタイルの安全・安心な使用状態を確保することが作り手に求められており、タイルの外観にはじまり、最終的にはタイル壁面の耐久性や使用性に関わる幅広い品質への要求を踏まえる必要がある。

例えば、建物の平面部分に使用する「平物」のタイルの標準的な寸法については、50角（実寸：45×45mm）、100角（実寸：97.7×97.7mm）、小口平（実寸：108×60mm）、二丁掛（227×60mm）等があり、建物コーナー部などには「役物」タイルが使用される（図1参照）。また、建物の「屋内部」に使用されるタイルは、「屋外部」と比べると施工・使用の条件が良く、また近距離で見られることから寸法精度の高いものが要求される。「屋内床」に使用されるタイルは、耐候性の他、すべり抵抗性、耐摩耗性、耐衝撃性に優れる必要がある。そして、「施釉タイル」の場合、汚れにくく清掃がしやすいために、住宅や店舗の床に用いられ、「無釉タイル」の場合、すべり抵抗性が高く、磨耗しても色の変化が少ないため、公共施設や公園などに使用される。

## 5 タイルの製造方法

図2～4にタイルの製造工程を示す。タイルは粘土を主原料に、長石、陶石などが配合されている。これらの材料を用い、「押し成形(A)」では、練り土を製造し、その含

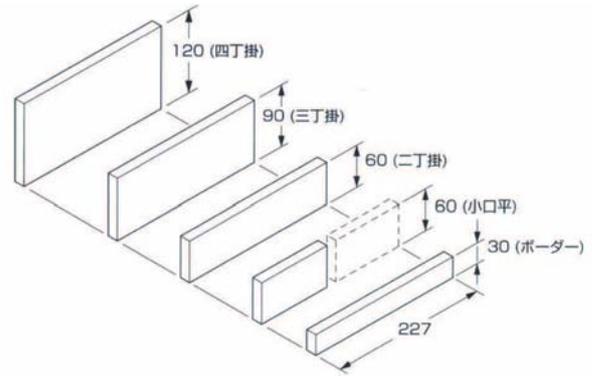


図1 平物外装タイルの形状と寸法（(一社)全国タイル業協会）

水率を20～25%に調整し、裏足同士に切れ目の入った2枚のタイルを1対で成形し、焼成後にこの1対のタイルを割裂して2枚のタイルを製造する。その表面や形状には素材感と柔らかみを感じられるものとなる。

「プレス成形(B)」では、含水率7～9%に乾燥させた粉末原料である杯土を高圧プレスにより固化成形し、施釉後に本焼成を行う。粘土の素地表面はガラス質被膜が形成されるため、焼成後の表面は吸水防止され、硬さや正確さを感じられるものとなる。

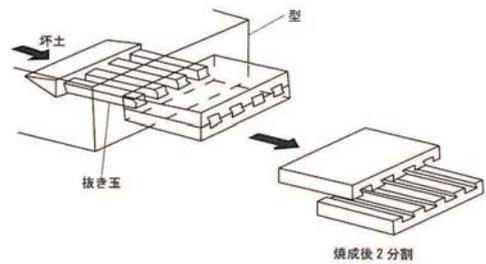
また、タイルのテクスチャーについて、上記の成形方法



a) 混練りの様子



b) 押し成形とピアノ線切断



c) 押し成形の原理

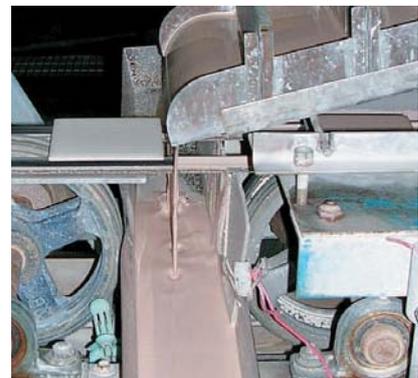
図2 タイルの製造工程（押し成形(A)）



a) プレス成形の金型



b) プレスされた杯土



c) タイルへの施釉処理

図3 タイルの製造工程（プレス成形(B)）



a) トンネル窯での焼成処理



b) 裏足部での切断処理



c) 釉薬による保護層



d) ユニットタイル仕上げ

図4 タイル製造工程(焼成～梱包)

や釉薬の有無以外に「酸化焼成」、「還元焼成」などにより変化が与えられる。「酸化焼成」は、酸素を十分に供給した炎で焼き上げ、釉中・素地中の酸化金属と酸素を結合させて呈色させるため、施釉タイルや色幅の少ないタイルに適している。「還元焼成」は、酸素供給を抑制した炎で焼き上げ、釉中・素地中の酸化金属から酸素を還元して呈色させるため、タイル素地にあたる炎に偏りが生じ、色幅が大きく、本来の焼き物らしい風合いとなる。

## 6 タイルの張付け工法

タイルはその張り付け方により、大きく表4のように分類することができる。平物単体を一つずつ屋外壁に張り付ける場合や、施工性を重視してユニットタイルを連続壁に張り付ける場合、高層建築物のカーテンウォールに工場施工で先付けする場合、ならびに住宅の既存外壁に接着材張りタイルを改修施工する場合など、建築物における用途、規模、部位等により、タイルの張り付け工法は大きく変化するといえる。

図5にタイル張り付け工法における伸縮調整目地の概要を示す。タイルの張り付け工法の最終段階として、タイル仕上げを美しく見せる目地割の種類を決める必要がある。代表的なものに、フランス張り、イギリス張り、通し目地などがあり、意匠的な観点も踏まえて決定される。また、タイルの目地は、タイル間の目地と亀裂誘発目地の上に設置する伸縮調整目地に大別されるが、伸縮調整目地の位置については、タイルが目地をまたがないように割り付ける必要がある。伸縮目地の幅については、コンクリートの乾燥収縮の亀裂に伴うムーブメントに追随する必要がある。その際、雨水の浸入を防止するシーリング材を施す場合は、3面接着とする。なお、PCaパネル間の目地などのようにムーブメントが大きいものは、シーリング材の追随性を高めるために底面の接着を断った2面接着とする。

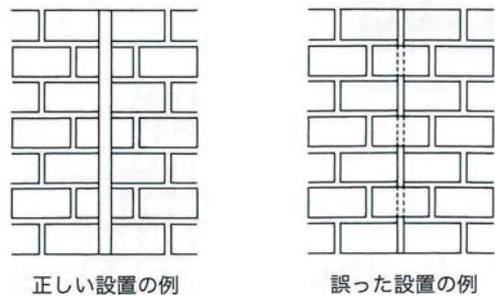
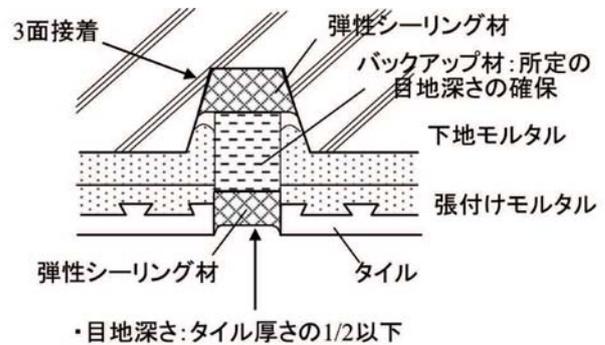


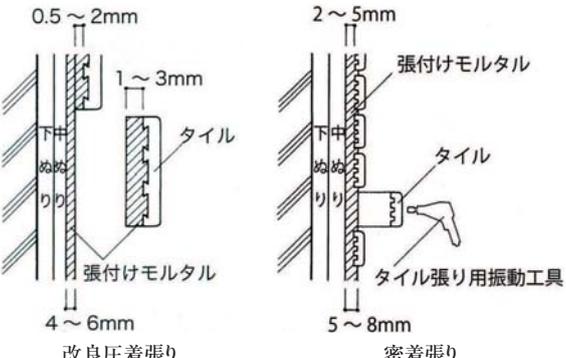
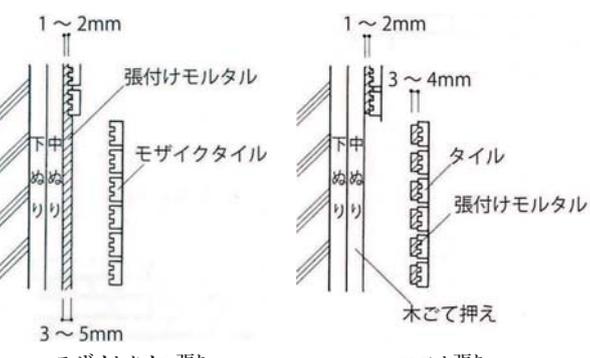
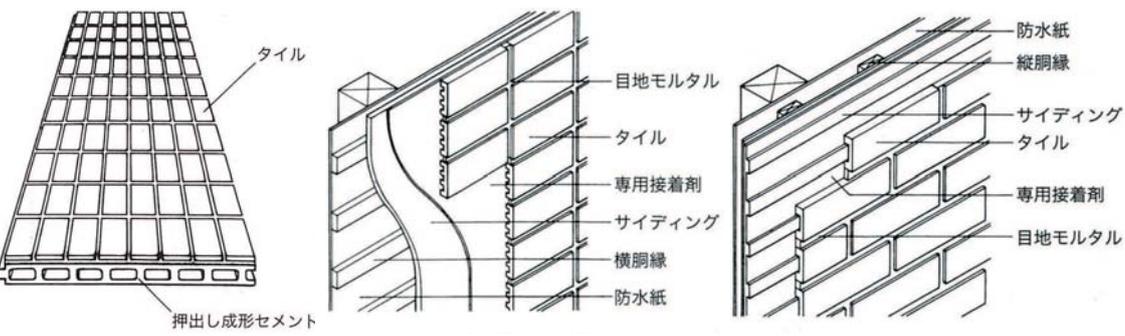
図5 タイル張り付け工法における伸縮調整目地の概要

## 7 タイルの根付き方のこれから

図6に多治見市モザイクタイルミュージアムで振り返るタイルの根付きを示す。国内外含め、粘土原料によるタイルは、本来造形性に優れ、焼結後は耐久性に富むために、建材の枠以外でも非常に多様な使われ方がされている。国内では、今から半世紀前頃に、多様な文様と美しさを導く材料として、幅広い製品や建材に多用され、個性や愛着に結びつく根付き方が展開されており、国内タイルの古き良き時代を築いたと言える。

現在、空港やホテル、更にはデパートや商業建築など、量的にはわずかも知れないが、タイルが内装のアクセントとして人の視覚に入るように設計され、外部光の反射・

表4 主なタイルの張付け工法

工法	主な内容
平物単体	改良圧着張り 張付けモルタルのオープンタイムの影響を受けにくくした工法。下地側とタイル裏側に張付けモルタルを塗り、タイル裏足への確実な充填と、下地側とのなじみを改善し、確実な接着力を確保。
	密着張り 下地側に張付けモルタルを塗り、タイル張り用の振動工具を用い、タイルをモルタルに押し込むように張付ける工法。施工効率も高く、オープンタイムによる影響も圧着張りに比べて小さいため、屋外タイルの施工では現在最も良く用いられる工法。ヴィブラート工法とも呼ばれる。 
ユニットタイル	モザイクタイル張り 紙張りされたモザイクタイルに、モルタルを塗りつけ、表紙張りのまま壁に押さえつけて張付ける。モルタルの硬化の度合いを見計らい、水湿して表紙を取り除いてタイルの配列を微調整する。オープンタイムの影響は受けやすいので、施工上の注意が必要である。
	マスク張り モザイクタイルの裏面にマスク（目地部分を残して穴あけされたもの）をかぶせ、張付けモルタルを塗りつける。モザイクタイル張りの短所であるオープンタイムの影響による接着力のばらつきを小さくできる。 
その他	パネル工法 押出成形セメント板タイルパネルやALCタイルパネルがある。いずれも予め工場で行ったタイル張りを施し、トラック等で現場に運搬し、躯体に取り付けられたアングルに専用の金具で取り付ける。
	引っ掛け工法 予め壁面に施工されたタイル引っ掛け用の専用ベースボードの凸部に、タイル裏側の凹部を引っ掛け、専用の接着剤や金具で部分的に固定する。
	接着剤張り工法 平滑な下地面に有機質接着剤を塗り広げ、くし目ごてを使ってくし目を立ててタイルを張り付ける。RC下地はよく乾燥していることが必要。木造住宅外壁などに、窯業系サイディングを下地として専用の接着剤で直接タイルを張り付けることもできる。
その他	



a) 天板のモザイクタイル



b) タイル貼付け灰皿



c) 昭和の丸タイル



d) 現代のデザインタイル

図6 多治見市モザイクタイルミュージアムで振返るタイルの根付き



a) 2018年度優勝チーム(各国代表:チーム五輪)



b) Bodyに愛を注ぐ



c) QRで情報を注ぐ



d) 伝統文様を注ぐ



e) NeoPlasticismを注ぐ



f) 求心力(コア)を注ぐ



g) 破壊・再生を注ぐ

図7 大学生のBox Architecture施工実習における優れた模擬鉄筋コンクリート造建築物の例

吸収の作用を活かしながら、空間の華やかさや彩りを際立てている。このような外観的な付加価値の向上に向けた取組みは、人の心理・生理的な快適性を始め、創造性をも育む可能性を感じさせられる。

最後に、図7に工学院大学2年生前期の材料実験で行うBox Architecture施工実習の様子を示す。この実習は、次代の担い手とともに、模擬鉄筋コンクリート造建築物の型枠工事、鉄筋工事、コンクリート工事、左官・タイル工事ならびに外観検査までの一連の流れをチーム形式で実製作するもので、後半のタイル工事では学生達がタイルに何かの意味を注ぐことに躍起になる。そこでは、タイルが構造体コンクリートを包む役割を担うだけではなく、新たな知識や情報の伝達手段となり、更にはその物の状態に保有された意味や精神性をも伝えようとする様子が伺える。これからのタイルの機能拡大と根付きの新たな展開に大いなる期待を込めたい。

## 参考文献

- ベーシック建築材料, 野口貴文, 今本啓一, 兼松学, 小山明男, 田村雅紀, 馬場英美, 彰国社, 2010  
 JIS A 5209:2014 セラミックタイル  
 日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説 JASS19 陶磁器質タイル張り工事  
 タイル手帖, 全国タイル業協会, 2014



## profile

### 田村雅紀

Masaki Tamura  
 工学院大学 教授

1973年岐阜県生まれ  
 専門分野: 建築材料学  
 主要著書: 「ベーシック建築材料」,  
 「ものづくりからみた建築の仕組み」

## 石膏編

工学院大学 教授 田村雅紀

### 1 はじめに

周知のように、日本は環太平洋造山帯上に位置し、四方が海に囲まれている。そして海水には、塩化物イオン (Cl<sup>-</sup>)、ナトリウムイオン (Na<sup>+</sup>)、硫酸イオン (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) などが多く含まれているため、塩化ナトリウムをはじめ、塩化マグネシウム、硫酸マグネシウム、硫酸カルシウムなどの様々な塩類が地殻上に堆積している。そのため、造山帯上に点在する温泉地域などでは、地殻中の熱水を介した変性作用により、岩石中の硫酸塩鉱物が溶出し、昇華の際に生じる硫黄臭を感じたり、コロイド状の硫黄である湯ノ花を見る機会が数多く得られたりもする。

天然石膏 (CaSO<sub>4</sub>・2H<sub>2</sub>O) は、このような地殻形成の過程を経て得られる硫酸塩鉱物のひとつである。日常生活でこのような石膏の鉱物形成の過程が意識されることは殆どないが、昔から建築の防火性を確保する材料のひとつとして多用されており、現在はパネル状に成型された石膏ボードを中心に建築の内装材料として長きに渡り安全で快適な空間づくりに貢献している。

### 2 石膏の歴史

表1に石膏建材に関わる歴史を示す。

紀元前7000年頃より、石膏は彫刻用材や器など様々な日用道具に用いられており、エジプト・クフ王のピラミッドにおける石棺に結晶石膏が使われていたという有名な話もある。13世紀以降、欧米を中心に使用が拡大し、17世紀のアメリカでは、ログハウス住宅における防火性を確保するために、内壁に石膏プラスターを厚く塗りこめて使用した。その後、1902年にアメリカにて石膏ボードの製造が開始され、木材などの有機物表面を結晶水を含む石膏で覆い建物の防火性を確保するという考え方が整理され、世界各地に普及した。

国内では、1922年頃に石膏ボードの製造・販売が始まった。当時の石膏ボード製造は、石膏スラリーを原紙に貼り付け、板状にした後に、天日干しをするものであり、現在の基本的な製造工程の基礎となっている。

### 3 石膏の種類

図1に石膏の様子を示す。石膏の原料は、タイ、メキシコ、オーストラリアなどの海外から輸入される天然石膏原石と、火力発電所や金属精錬所などで燃料燃焼などに伴い発生した排ガス中の硫酸化合物 (SO<sub>x</sub>) を、排煙脱硫装置で回収し、回収副生石膏として再生した原料を主として用いている。

表2に石膏の化学組成・製品による分類、図2に熱重量変化を示す。石膏は化学組成により、二水石膏、半水石膏および無水石膏に分類され、温度変化に伴う、物質の蒸

表1 石膏建材に関わる歴史

年	項目
BC7000年迄	新石器時代、古代エジプトで建材としての使用が確認される
13世紀	ヨーロッパで建材への石膏利用が本格化 石膏プラスターが宮殿装飾用に多用される
17世紀	ロンドン大火後の対処、米国でのログハウス防火対応などで石膏プラスターが普及
1894年	アメリカ・オーガスティンサケット (Augustine Sackett) が石膏ボードを発明
1922年	日本初の石膏ボードの製造・販売が開始
現在	火力発電所等の回収副生石膏等を主原料に、環境にも配慮した製造が一般化



a) 天然石膏の採石場



b) 天然石膏原石



c) 回収副生石膏



d) 石膏の工芸品

図1 石膏の様子

表2 石膏に関する化学組成・製品による分類

化学組成	特性
二水石膏 ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	天然の石膏原石と、工業的に副生される化学石膏があり、2分子の $\text{H}_2\text{O}$ を結晶水として保持する。
半水石膏 ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ )	二水石膏を120～150℃で加熱して得られる。水と練り混ぜて水和反応し、針状結晶による二水石膏を析出する。焼成温度、熟成期間、粒度等の違いにより、石膏プラスター、石膏ボード類に使用される $\beta$ 半水石膏と、歯科・工業模型等に使用される $\alpha$ 半水石膏に分けられる。
無水石膏 ( $\text{CaSO}_4$ )	半水石膏を180～190℃で加熱して得られる可溶性のものと、天然に存在する不溶性のものがある。不溶性のものは、二水石膏を300～700℃で加熱しても得られる。
製品	内容
工業用製品	歯科用、ギプス用、陶磁器型材用、彫塑美術工芸用、工業模型用、精密鑄造用、食品添加用など
建材用製品	石膏ボード、石膏プラスター、セルフレベリング材、セメント凝結遅延材、室内装飾用、土壌改良用など

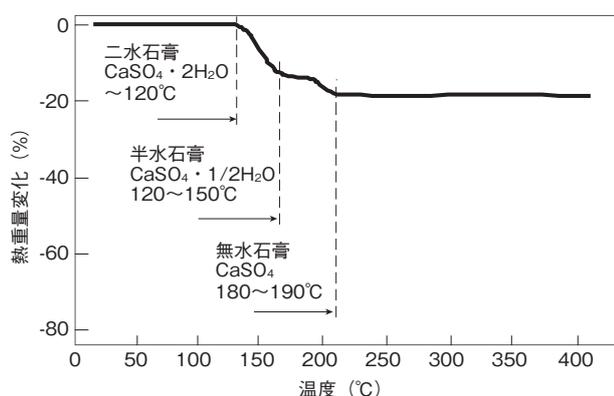


図2 石膏の熱重量変化



図3 石膏ボードの製造過程

発、結晶転移、融解ならびに熱分解などにより、二水石膏、半水石膏および無水石膏に変化し、重量にも変化が生じることがわかる。石膏製品の製造においては、2分子の $\text{H}_2\text{O}$ を結晶水としてもつ二水石膏を100～200℃の範囲で加熱し、結合水量、可溶性状などを変化させ、新たな物理・化学的な性質を有する材料としている。これらの石膏製品は、医療・食品・工芸などの工業用と、石膏ボードに代表される建材用に区別され、工業用は純度が高い天然石膏を直接原料として用いる場合が多い。建材用の石膏ボードは、火力発電所等で発生する硫酸酸化物を原料とした回収副生石膏を主原料に、廃石膏ボードなども混合利用して、資源循環にも貢献している。

#### 4 石膏ボードの製造・性質

建材用製品の代表といえば石膏ボードであり、製品出荷割合の大部分を占める。石膏ボードは、石膏原料を加熱して得られた焼石膏を粉砕した後に、水、混和材・添加剤を加えてミキサーで混練し、上下2枚の紙の間に流し込み、成型・固化する(図3参照)。その後、乾燥・切断工程を経て石膏ボードとなる。石膏ボードはJIS A 6901にせっこうボード製品として規格化されている。

近年の国内の石膏ボード総生産量は5億 $\text{m}^2$ 程度を推移

しており、住宅着工戸数との相関がある。世界の石膏ボード総生産量はその10倍を越え、アメリカがその半分程度を占めている。

表3に石膏ボードおよび石膏ボード壁工法について示す。防火性、断熱性、寸法安定性、耐衝撃性、遮音性など、室内空間全般に求められる各種性能を満足させることができ、また材料特性を効果的に引き出せるような工法上の配慮がなされている。近年は、建物の高品位化と高气密化に向け、少ない労力で気密性を確保する目地・隙間処理工法が普及しており、さらには、人の健康・快適性に配慮し、調湿性の確保や有害化学物質の低減に繋がる新たな性質を付与する試みがなされている。

図4に石膏ボードの性能試験の例を示す。JIS A 6901には石膏ボードの種類に応じて、満たすべき基本性能(曲げ破壊荷重、含水率ほか)とその試験方法が規定されている。

#### 5 石膏ボードの資源循環と今後の展望

図5に石膏ボードの資源循環を示す。現在、石膏ボードの原料は、回収副生石膏を50%程度、廃石膏ボードを5%程度、ボード用原紙についても、新聞古紙・段ボールなどの再生紙を原料のほぼ100%として用いており、工場内、新築現場、解体現場などで生じた廃石膏ボードについて

表3 石膏ボードおよび石膏ボード壁工法の特徴

ボード性能	特徴
防火性	二水石膏中に結晶水が約21%含まれており、加熱時に結晶水が熱分解するため、完全に脱水するまで温度上昇を防ぐことができる 石膏ボードは、不燃材もしくは準不燃材に認定されている
断熱性	熱伝導率が0.15～0.22W/(m・K)程度で、木材(0.09～0.17 W/(m・K))とほぼ同等であり、断熱性がよい
寸法安定性	温度、湿度の変化による重量・体積変化はほとんどなく、寸法安定性に優れる
耐衝撃性	脆性的な材料である石膏に、ボード用原紙を組み合わせて成型されたボードは耐衝撃性が得られる
その他	石膏プラスター原料に、調湿機能を有する材料や、有機化学物質を吸着する材料などを組み合わせ、室内空気環境の状態を整えることができる
壁工法の名称	特徴
一般工法	壁・天井の下地の種類により工法が区分される(例 木造壁下地工法、鋼製壁下地工法ほか)
耐火工法	耐火構造や準耐火構造として石膏ボードを使用した間仕切壁などの複合建材や、鉄骨の柱・梁を1～3時間の火災から守る耐火被覆工法がある
遮音壁工法	ボードの比重は0.6～0.9程度と内装材料としては比較的大きいことから、厚手ボードの両面張り構造とすることで遮音構造となり、音響透過損失の程度に応じた区分の遮音性の付与が可能となる 場合により耐火構造や準耐火構造が確保される
床工法	重量物が床に落下した際の衝撃音を遮断する工法であり、建築用途に応じて床遮音性能を保持させることができる 場合により準耐火構造が確保される
耐力・耐震壁	ボードにガラス繊維を予め混入するとともに、ボード表面にもガラス繊維シートを張り付ける構造とすることで、耐力壁として一定の壁倍率を確保することができる
日地・隙間処理工法	既存の壁・天井などの下地材目地部分に、石膏ボードを留付け、気密性の高い空間とする工法であり、耐火・防火性、遮音性、断熱性などが向上する
改修工法	既存壁体に直接張り付けることで、遮音性能などが改善される

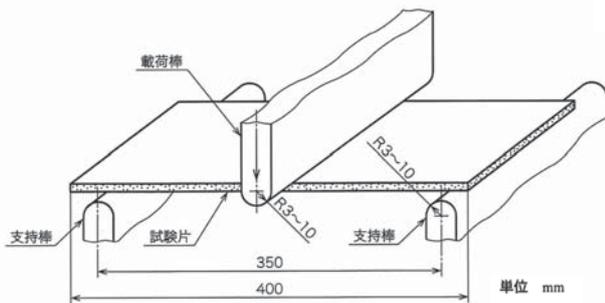


図4 石膏ボードの性能試験  
(上: 曲げ破壊荷重試験、下: 吸水性試験)

も、最終処分量の削減と再資源化の拡大を図るために様々な取り組みがなされている。

今後の石膏ボードを中心とした石膏建材の新たな目標は、どのような広がり期待されるだろうか。

石膏は、短期間で大量に製造・施工することができ、かつ、内部組織に多量に保持している結晶水の蒸発によって温度上昇を抑制するという性質をもつことから、石膏ボードなどの面材として壁・天井などの建築要素を広く面的に覆うことで建築物に耐火性や避難安全性を付与することに適しており、内装材として拡大的に普及してきた。一方



a) 回収副生石膏製造施設 b) 廃石膏ボード c) 廃石膏ボードの運搬(車載型設備)

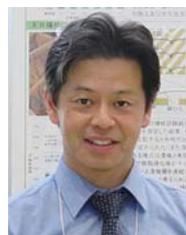
図5 石膏ボードの資源循環

で、見方を変えれば、石膏ボードは壁や天井によって形作られる空間そのものを包み込んでいるとも言える。

今後は、クローズドな資源循環の可能性を更に追及することに加え、石膏ボードが内装材として大きく占有する空間側の質に着目し、建築空間との相互作用による新たな価値を提供するような展開も可能と思われる。

#### 参考文献

ベーシック建築材料, 野口貴文, 今本啓一, 兼松 学, 小山明男, 田村雅紀, 馬場英美, 彰国社, 2010  
吉野石膏(株), 総合カタログ, <http://yoshino-gypsum.com/catalog/index.html>  
JIS A 6901:2014, せっこうボード製品



#### profile

#### 田村雅紀

Masaki Tamura  
工学院大学 教授

1973年岐阜県生まれ  
専門分野: 建築材料学  
主要著書: 「ベーシック建築材料」,  
「ものづくりからみた建築の仕組み」

## ガラス編

工学院大学 教授 田村雅紀

### 1 はじめに

セラミック素材は、広くはギリシャ語の「keramos」に由来する「粘土を焼き固めたもの」を意味し、共通する物理化学的特性をもつ。具体的には、金属素材より軽く、常温では固体で硬度・強度が高く、内部の局所的な欠陥に左右されて脆性破壊しやすいことなどがある。主なセラミック素材の系は、石、れんが、瓦など二酸化けい素を主成分に組織が焼結して建材となった系と、コンクリート、セメント系材料、漆喰、石膏などのアルカリ系金属が塩となって建材となった系に分類される。これらは、地殻形成の流れを大局的に踏まえると、前者はマグマの熱焼結による「山系」、後者は海水中のアルカリ系金属が堆積した「海系」の素材と捉えられ、「ガラス」はその化学成分に両者を兼ね備えた、いわば山系と海系が境界領域で一つに結ばれ誕生した素材といえよう。

表1 ガラスの歴史

年代	主な内容
紀元前3000年	メソポタミアでガラス質の釉薬が使用
10世紀以後	吹きガラスを遠心力により広げて平面にするクラウン法が誕生
16世紀後半	木灰の使用により透明化したボヘミアングラスが誕生
20世紀始め	ガラス板の連続製法が可能な板引き法により国内で窓ガラスが普及
1851年	第一回万国博覧会にてガラス建築であるクリスタルパレスが発表
1921年	ニューヨークの摩天楼構想でガラスのカーテンウォール建築が誕生
1965年～	フロート板ガラスの開発

一般に、建築材料は材料表面で光を反射し、その存在を視覚的に認識できるが、ガラスはそれらとは対極をなす性質を有し、二酸化けい素とアルカリ系金属を含み硬化した非結晶構造により、太陽から降り注いだ可視光領域の電磁波を幅広く透過させる。つまり、材料の表面が限りなく「透明」という状態で視覚的に認識され、ガラスの面材で干渉し合う前後の空間の関係を、境界を設けて制御できるようになる非常にユニークな材料といえる。

### 2 ガラスの歴史

ガラスは、古くは装飾品や工芸品として用いられ、やがて建設産業だけでなく他産業分野に幅広く用いられた。製法面での改良が加えられつつ、ガラスを大量に生産し、建材としての可能性を世に示したのは、1851年にロンドンで開催された第一回万国博覧会のクリスタルパレス（長さ564m、幅125m、高さ33mの鉄骨造建築物）である。その後、ドイツ出身の建築家であるミース（Ludwig Mies van der Rohe）によるニューヨークを舞台としたガラスカーテンウォールによる摩天楼構想を契機に、1950年代にはガラスカーテンウォール建築が全盛期を迎え、様々な技術開発が進められながら現在に至っている。

### 3 ガラスの性質と種類

表2にガラス成分による主な分類を示す。ガラスの主な成分は、先述のように、山系であるSiO<sub>2</sub>からなる酸性成分と、海系であるNa<sub>2</sub>O、CaOなどの塩基性成分が結合したアルカリけい酸塩で構成される。建築一般に使用される板ガラスはソーダ石灰ガラスであり、水ガラスなどは防火塗料に使用されている。ガラスを構成するSiO<sub>2</sub>の結合は非常に強く、理論的な強度は30000MPa程度と考えられているが、実際の強度はその1/400程度で非常に脆い。このガラスの強度を低下させている原因は、表面に存在する目に見えないほどの微細な傷（グリフィス・フロー）で、ここに引張力が作用した場合、傷が成長し破壊に至る。

図1にガラスにおける太陽光の反射・吸収・放射特性と分光透過率曲線を示す。光の源流といえる太陽光は、周知のように紫外線と可視光線と赤外線を含む電磁波で構成され、それぞれ12%、37%、51%程度の放射エネルギーを有している。これらがガラスに放射されると、物質と電磁波

表2 ガラス成分による主な分類

種類	成分（海系：山系）	一般性質・用途
ソーダ石灰ガラス	(Na <sub>2</sub> O, CaO : SiO <sub>2</sub> )	ソーダ灰 (Na <sub>2</sub> O) と石灰 (CaO) により溶融しやすく、酸には強くアルカリには弱い性質がある。建築一般やビン類に使用。
カリ鉛ガラス	(K <sub>2</sub> O, PbO : SiO <sub>2</sub> )	ソーダ石灰ガラスより溶融しやすく加工が容易で、酸および熱に弱い。光線分散率が大きく、スマートフォンなどの光学ガラスに使用。
石英ガラス	(なし : SiO <sub>2</sub> )	耐熱性、耐食性が大きく、熱膨張がきわめて小さいため、古くから理化学器具に使用。
水ガラス	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ・H <sub>2</sub> Oによるけい酸ナトリウム水溶液	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> の結晶粉末より製造でき、防火塗料、耐酸塗料などに使用される。凝固物を加熱乾燥したシリカゲルは、多孔質なため乾燥剤となる。

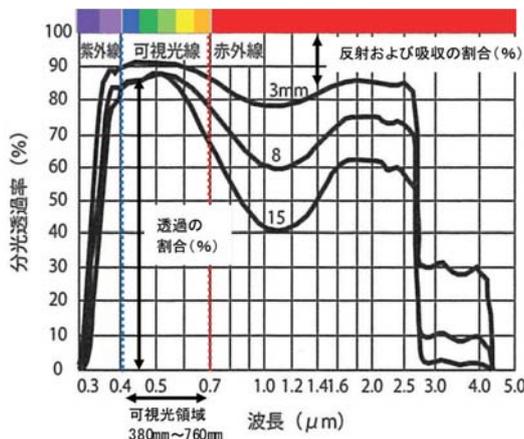
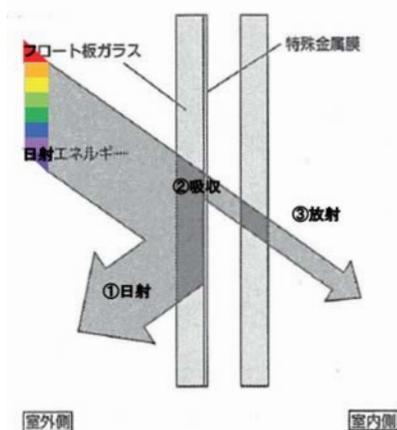


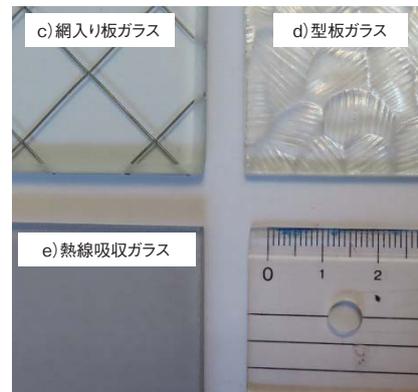
図1 ガラスにおける太陽光の反射・吸収・放射特性と分光透過率曲線

表3 ガラスの製品形態に応じた分類

名称		特徴
板ガラス	a) フロート板ガラス	最も一般的な透明板ガラス。高い平面精度で、透視性・採光性に優れる。破損時には不定形の鋭利な破片となり、用途に応じて対策が必要となる。
	b) 強化ガラス	フロート板ガラスの3～5倍の強度を有し、割れても破片が細かくなりけがを防ぐ。製造方法は、板ガラスを強化炉に入れ、軟化温度(約600～700℃)に熱した後に急冷し、表層部分に圧縮応力層を形成させる。
	c) 網入り板ガラス	フロート板ガラスに金属網を封入することで破片が飛散せず、防火・安全面で優れる。ガラスの小口から水が浸入し、金属網が錆びてひびが入ることがある。
	d) 型板ガラス	ロールアウト法によりフロート板ガラスを引き出す際、型ロールを使うことで、ガラス表面に模様を施し、不透明にしたもの。
	e) 熱線吸収ガラス	特定の波長を吸収する鉄、コバルト、ニッケルなどを微量に加えて着色し、全波長域の日射エネルギーの20～60%が吸収される、明度の低い透明ガラス。
板ガラスの加工品	f) 熱線反射ガラス	ガラス表面に反射率の高い金属酸化物の膜をコーティングし、可視光の30%程度を反射し、ハーフミラー効果を引き出す。カーテウォールなどに多用される。
	g) 複層ガラス	室内側のガラスに特殊金属膜をコーティングし、板ガラス間に乾燥空気、もしくは断熱効果があるガスを封入して断熱性を高めたガラス。
	h) 合わせガラス	2枚のガラスの間に、プラスチックフィルムをはさみ、損傷時に破片が飛散らず、貫通しにくい。自動車のフロントガラスなどに使用されている。
	i) 低放射(Low Emissivity)ガラス	板ガラスに金属膜をコーティングし、赤外線の放射率を小さくし、可視光量を保持する。複層ガラスとして使用し、断熱性と遮熱性を高めることができる。



ガラスの処理方法の違いによる破壊状態の違い



機能性ガラスの表層状態の違い

の影響特性により、「①反射」、「②吸収」、「③放射(透過)」の状態に配分される。この時、ガラス表面で「①反射」がされなかった電磁波のうち、可視光線については、ガラス中の電子に小さな振動しか起こさず、直ちに可視光線域を含む380～760nm程度の光エネルギーとして再び「③放射」されるため、ガラス面の前後の光情報を同等とする「透明」の状態を実現する。一方、紫外線の周波数は、ガラス中の電子の固有振動数領域と重なるため、光が当たると電子がガラスを共鳴振動させる。また、赤外線の周波数もガラス分子全体を共鳴振動させるため、これらの電磁波はガラス分子の熱エネルギーとして「②吸収」される。結果、室内側への「③放射」の程度は低下するが、ガラス自身による輻射熱が生じるようになる。

表3にガラスの製品形態に応じた分類を示す。板ガラスは大きく5種類に分類され、表面と内部への溶融・成形時の処理ならびに、これら板ガラスを用いた表面処理、接続方法などの加工処理を変えることにより、ガラス製品として各種の機能をもたせている。

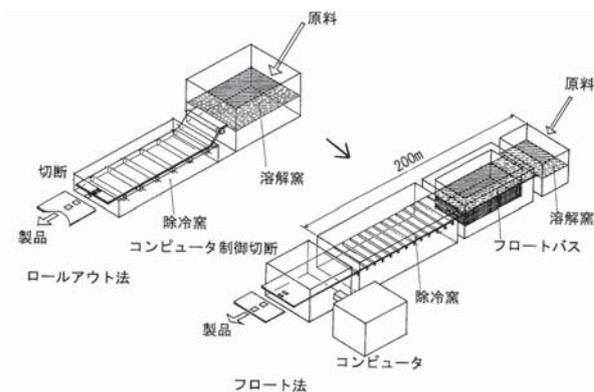
## 4 ガラスの製造

図2に板ガラスの製造工程と主な原料を示す。ガラスの主原料であるけい砂(SiO<sub>2</sub>)に対し、けい砂の溶解温度を低減させるためのソーダ灰(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>:昔は岩塩を使用)、水に対し不溶性を与える石灰石(CaCO<sub>3</sub>)を加え、その他、苦灰石、ぼうしょう、長石ならびにガラスカレットを加え

て約1600℃で溶融して製造される。現在の板ガラスは主にフロート法により製造され、型板ガラスなどを製造する際はロールアウト法が用いられる。

## 5 ガラスの施工と使用環境

表4にガラスの主な施工方法と使用時の課題を示す。ガラスは住宅建築の開口部から超高層ビルのカーテンウォールなどに幅広く使用されるため、施工方法と使用状態に関わる課題が多種多様に存在する。特に近年は、ZEH (Net Zero Energy House) や ZEB (Net Zero Energy Building) など、外皮の断熱性能などの改善で省エネルギーを実現するために、適切なガラス材料と構法の選定が求められている。また、高層マンションなどの拡大的な普及により、ガラスを有するカーテンウォール部材の耐震性や境界目地部の止水性などの課題が再認識されている。これらのように、現代の様々な社会的背景の中で、ガラスとその部材が使用環境において達成すべき課題が増えているといえる。



主原料となるけい砂の例



ソーダ成分(岩塩)と石灰成分(石灰岩)の例

図2 板ガラスの製造工程と主な原料

表4 ガラスの主な施工方法とガラス壁面の使用時の課題

項目	概要図
<p>a) ガasket構法による施工</p> <p>ガスケット(定形シーリング材)を用いてサッシ・構造躯体に固定される。ガスケットの形状により、2種類(グレージングチャンネル、グレージングビード)がある。なお、目地部には不定形シーリング材が用いられ、硬化前はペースト状で流動性があり、硬化後は弾力性の有るゴム状となる。</p>	<p>グレージングチャンネルの例</p> <p>グレージングビードの例</p>
<p>b) DPG構法による施工</p> <p>DPG (Dot Point Glazing) 構法は、点支持金物を複数枚のガラス端部に取り付け、ガラス全体を支持構造体に連結するガラススクリーン構法の一つである。ガラスの孔周辺には応力集中が生じるため、強化ガラスが用いられる。</p>	<p>点支持金物</p> <p>連結金物</p>
<p>c) ガラスの熱割れ現象</p> <p>太陽光の大部分はガラスを「③放射」するが、「①反射」と「②吸収」される熱が1:2の割合で影響し、ガラス内部の熱が上昇し、膨張する。ガラス周辺部は熱がサッシなどに放熱されて収縮する結果、引張応力が発生し、周辺部にひび割れ・破断による「熱割れ」の破壊が生じる。</p>	<p>①反射</p> <p>②吸収</p> <p>③放射</p> <p>高温部</p> <p>低温部</p> <p>放熱</p> <p>熱割れ</p> <p>中央部=高温</p> <p>周辺部=低温</p> <p>サッシ窓躯体</p>

### 参考文献

今本ほか：ベーシック建築材料・ガラス，彰国社，2010  
 セントラル硝子：公式 website 技術資料 (<http://www.cg-glass.jp/products/search/14.html>，閲覧日：2019.10.13)  
 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS17 ガラス工事，2005



### profile

#### 田村雅紀

Masaki Tamura  
 工学院大学 教授

1973年岐阜県生まれ  
 専門分野：建築材料学  
 主要著書：「ベーシック建築材料」  
 「ものづくりからみた建築の仕組み」

## セメント・コンクリート編

工学院大学 教授 田村雅紀

### 1 はじめに

コンクリートは、言われずと知れた、世界に広がる基幹建設材料といえる。その主原料であるセメントの起源を再認識することは重要であり、想像を超える時間を遡ることになるが、今から5億年前の古生代のカンブリア初期における、地球に一斉に生物が誕生したとされるカンブリア大爆発を端緒に、海中にある珊瑚等の石灰質骨格生物の死骸堆積物がやがて石灰岩となり、セメント原料として広く利用されるに至った。骨材に関しては、マグマが冷却固化した火成岩、岩石風化物が地上・水中で蓄積した堆積岩、前2者が生成起源と相違した状態変化を遂げた変成岩による3つの成因区分の違いが考慮されており、コンクリートの主たる構成材料として長らく使用されてきた。このように、コンクリートは素材の生成起源を辿れば、加工度の高い他建材と比較すると、圧倒的に古くからの地殻形成のための基本材料を多用していることから、その恩恵を体感した上で、現代の社会基盤材料に転化させるという意識をもつことができる貴重かつ希有な材料群といえる。

### 2 セメント・コンクリートの歴史

表1にセメント・コンクリートに関わる歴史を示す。限られた情報となるが、世界全体に広がる石灰岩の賦存状況

表1 セメント・コンクリートに関わる歴史

年	項目
B.C.7000年頃	イフタフ（イスラエル）で、建物の床に石灰コンクリートを使用
B.C.7000年頃	大地湾（中国）で、焼成セメントを用いたコンクリートが登場
B.C.2500年頃	エジプトで、ピラミッド目地材に石膏を主原料とするセメントモルタルが使用
70～128年	古代ローマ帝国に建設が開始し、今も現存するパンテオンやコロッセオ建設に石灰モルタルが使用される。その後、中世後半まで使用が途絶える。
1824年	水硬性石灰の発見後、ジョセフ・アスプディン（英）より、ポルトランドセメントが発明され世界的な普及が始まる。
1875年	明治維新後、日本初のセメント工場（深川）でポルトランドセメントが製造され、1900年代初頭より鉄筋コンクリート造建造物の建設が始まる。

を踏まえると、ここに記されない深層の歴史が実際には蓄積されている。なお現代における各種セメント系材料やコンクリートの誕生・普及に繋がる端緒は、すべてこれらの歴史が元になっている。

### 3 コンクリートの構成材料とその製造

表2にコンクリートの構成材料とその製造の流れを示す。まず基本的なこととして、コンクリートは、体積の7割を占める骨材に対して、残り3割のセメントペーストがのり材として繋ぎ合わせる役割を担う構成となっている。続いて、表2に関連するコンクリートの基本物質に関する概要を説明する。

まずセメントは、水と練り合わせ気中のみで硬化する気硬性セメント（石灰、石膏ほか）と、気中・水中で硬化する水硬性セメント（各種ポルトランドセメント－普通、早強、超早強、中庸熱、低熱、耐硫酸塩、白色－ほか）に大別される。一般に、前者は「乾燥して固まる」とも説明される硬化体で、漆喰仕上げ等の伝統的な左官仕上げに多用されているが、後者の「乾燥して固まるのではない」水硬性セメントの水和物と比較すると、両者は現在までに製造方法や対象建物の規模や構成に大きな違いを生じさせており、一見似たような材料ではあるが非常に興味深い展開の違いがある。

続いて、混和材料は、コンクリートの品質改善に用いるものであるが、比較的多い量を用いる混和材（高炉スラグ微粉末、フライアッシュほか）と、薬品的に少量用いる液体状の混和剤（化学混和剤等）がある。前者は、産業副産物起源材料が多く、微小な粒径で構成されることが多いため、硬化体の空隙充填と組織の緻密化に寄与し、コンクリートの高強度化と耐久性の改善を図ることができる。後者は、ミクロンレベルで分散相の相互に介在できる界面活性剤であり、粒子同士の分散作用に伴うコンクリートの流動性の改善、硬化速度の調整、分散型の微細空気による耐久性の改善等を図ることができる。

最後に骨材は、広くは天然骨材と人工骨材に大別される。天然骨材は、川や陸や海で産出される砂利・砂が中心であり、人工骨材は、地表部に堆積した砂岩や石灰岩等の岩石を破碎・分級した碎石・砕砂が中心であるが、昨今は、環境配慮の高まりと資源循環への対応が踏まえられ、再生骨材や産業副産物起源の各種スラグ骨材の開発と実工事への適用検討が積極的に進められつつある。

### 4 コンクリートの製造・施工

表3にコンクリートの製造・施工の流れを示す。コンクリートはミキサーを用いて練り混ぜられ、大半はレディーミクストコンクリート工場にて行われる。練り混ぜられたフレッシュコンクリートは、施工時において材料の分離がなく品質が安定し、打設作業が容易に行える必要がある。工事現場までの運搬は、トラックアジテータで行われる

表2 コンクリートの構成材料とその製造の流れ

			
1) 白化した珊瑚：石灰化した生物死骸はやがて石灰堆積物となる	2) 石灰岩の採掘現場：数億年の地質変化の蓄積が感じられる	3) 石灰岩専用運搬車：100t近くの岩石を運搬することが可能	4) 採掘された石灰岩：国内産の純度の高さは結合材性能に影響
			
5) セメント工場のプレヒーターとキルン：最高品質の製造設備	6) 陸砂採取現場：高低差ある巨大な露天掘りも採取限界に近い	7) 製砂工場：陸砂の洗浄、粒度調整等を実施し出荷体制を整備	8) 天然砂利：砕石骨材の需要拡大前は様々な品質の混合砂利

表3 コンクリートの製造・施工の流れ

			
1) レミコン工場：材料計量から練混ぜまでを連続運転して出荷	2) 打設現場での品質確認：空気量とスランプ等の合否判定	3) コンクリートの打設：アジテータ車より、型枠内に打込み中	4) 受入検査コンクリートの採取：所定本数を確保し試験
			
5) 製品工場：プレキャスト製品は加温蒸気養生により早期出荷	6) 免震装置付PCaコンクリート基礎：現場での据付けの様子	7) 製品の強度試験：実施工製品の性能評価で信頼性の確保	8) 各種コンクリートの出荷：環境対応型製品等も増加中

が、品質変化を抑制するため、通常は運搬時間が90分、打込み終了まで120分と定められている。なお、セメントの水和反応により、コンクリートが可塑性を失い固化する凝結現象があるが、打ち重ね続けたコンクリートが部材として一体性を確保するための適切な凝結時間の見極めが必要となる。現場に到着したコンクリートは、スランプ値(cm)と空気量(%)ほかが測定され、許容範囲内であれば、打込み箇所まで打設される。打ち込まれたコンクリートは、棒状または型枠振動機により締め固められ、コールドジョイント部からのひび割れ発生や漏水が生じないように一体化させる必要がある。

硬化したコンクリートは、諸々の屋内外環境を通じて長期に渡り安定的な品質を確保する必要がある。コンクリートが使用される主要部位(屋根、壁、柱、梁、床等)には、各種の要求性能(耐震性、耐風性、耐久性、耐火性、耐衝撃性、防水性、耐凍害性ほか)が一般に求められるが、その実現のために、コンクリートは所定の力学特性の確保が必要となる。その中でも、コンクリートの圧縮強度は重要であり、それを左右するのは、水セメント比(W/C)である。セメントとの水和反応に寄与しない余剰水分が多すぎると、強度低下を起すばかりか、乾燥環境下で水分が蒸発することで乾燥収縮が起り、内部鉄筋ほか、外部から

の拘束により引張応力が生じ、やがてひび割れが発生する。更に、コンクリートは長期使用により物理化学的な劣化現象（凍害、中性化、塩害、化学的浸食、アルカリ骨材反応ほか）が生じるため、構造物が置かれた環境や、材料に固有の劣化現象を適切に評価して、耐久性の確保に努め、建物の長寿命化に寄与することが求められる。

## 5 コンクリートの環境影響と文化性

図1に国内の資源投入量と廃棄物における建築関連の割合を示す。現在、世界中にコンクリートは広がっているが、感覚的なその多さからもわかるように、2000年始め、

日本の人口最大時期における国内の総物質投入量（約20億t）のうち、約50%が建築物や土木構造物に蓄積され、その半分がコンクリートの製造に投入された。また、産業廃棄物排出量に関しては、年間4億t程度で推移しているが、そのうち建設廃棄物は全体の20%程度を占め、農業および電気・ガス・熱供給・水道業と並ぶ最大の排出業種となる。また、最終処分量に関しては国内全体の30%程度を占め、コンクリートがもたらす影響は非常に大きい。コンクリート系材料を中心に資源利用に関わる諸問題の解決に努めることが、建設業のみならず全産業における環境負荷の低減に繋がる重要な課題となる。

表4にコンクリート材料の選定と環境配慮の分類を示す。

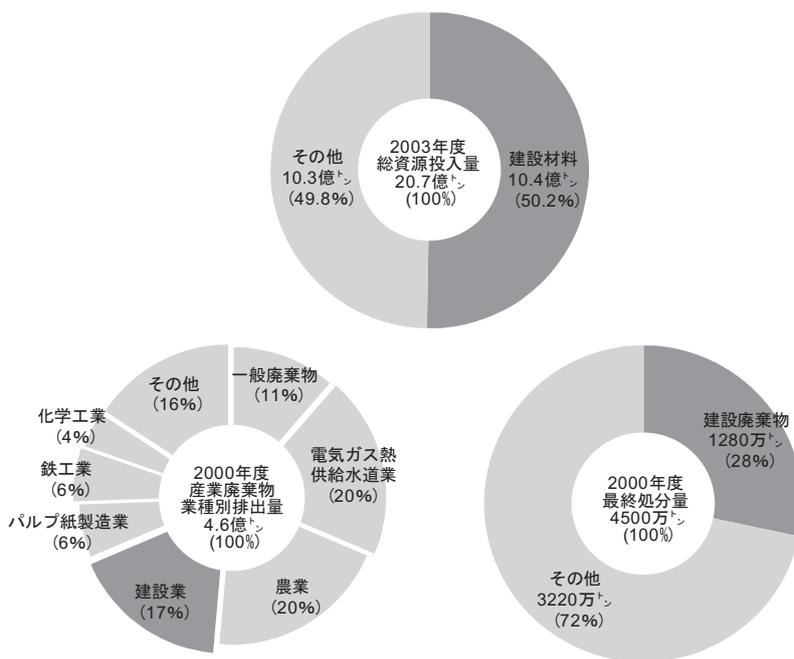


図1 国内の資源投入量と廃棄物における建築関連の割合

表4 コンクリート材料の選定と環境配慮の分類

材料の種類	省資源型	省エネルギー型	環境負荷物質低減型	長寿命型*
ポルトランドセメント	○			○
高炉セメント	○	○	○	
フライアッシュセメント	○	○	○	
エコセメント	○			
碎石、碎砂		○	○	○
再生骨材	○			
熔融スラグ	○			
人工骨材	○			
回収水	○		○	
上水道水				○
混和剤	○			○
混和材	○	○	○	
膨張材または収縮低減剤				○

設計段階：鉄筋コンクリート建築物の部材および構造物の設計を行う段階および他の段階における計画・設計を取り扱う段階

製造段階：原料の採取から材料・部材の設計・製造にいたるまでの段階

施工段階：鉄筋コンクリート建築物の施工計画から工事に関する段階

供用段階：鉄筋コンクリート建築物の維持管理計画から使用に関わる段階

解体段階：鉄筋コンクリート建築物の解体計画から解体に関わる段階

廃棄段階：廃棄物の処理計画、最終処分および再資源化に関わる段階および他の段階における廃棄物処理に関わる段階

\*長寿命に関してはAE剤を除く

日本建築学会では、鉄筋コンクリート造建築物とその工事等における環境影響の大きさを鑑み、設計・監理者、製造者、施工者および建築主のステークホルダーの理解が踏まえらるる、(1) 省資源型、(2) 省エネルギー型、(3) 環境負荷物質低減型、(4) 長寿命型による環境配慮の4つの型を提案し、環境配慮の目標を位置づけている。これら環境配慮の型は、建築物の設計から施工段階までのライフサイクルの各段階において、すべての型を満足する場合や、特定の型のみが対応できる場合等があり、ライフサイクルを通じ、環境配慮の程度の変化やトレードオフ関係になる場合も踏まえ、各段階で十分な環境配慮がなされるよう、コンクリート材料の選定や計画を適切に行うことが提案されている。

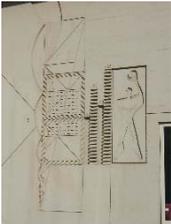
最後に、表5にコンクリートの環境配慮と文化性確保の流れを示す。コンクリート構造物は、環境に配慮しながら、最終的には「ゆりかごから墓場まで」のライフサイクル全体を通じ、その機能・性能が作り手のみならず、使い手の視点からも評価されるまでの道のりを構築する必要がある。

次世代に向けて環境配慮型の建物を建設するのみではな

く、それらの建築が長期に渡り適切に使用され、やがては文化性を確保するまでの道程を歩んでいけるかが重要になる。たとえば、表5に示すようにベルリンの壁の遺構の場合、1961年から89年の間に東ドイツと西ベルリンを隔てる全長155kmのコンクリート製の壁が、東西分断時代の象徴とされてきた。現在、壁は記念碑的に僅かに残されている程度であるが、分断の歴史を実物のコンクリートから伺い知ることができる。また、ベルリンのユニテ・ダビタシオンは、1958年に竣工したル・コルビュジェによるものであり、一連の建築群は世界遺産指定されている。この頃はコンクリートを用いた彫塑的な要素や、壁画等の表現手法が数多く取り入れられるようになり、建物の寸法単位に人間の身体寸法に基づく黄金比を意識したモジュール単位が持ち込まれた。その結果、モデュロールマンがコンクリート壁に見事に造形され、技巧的なコンクリートの造形により、高い芸術性と作家のデザイン手法に関する背景を表現することが実現されている。

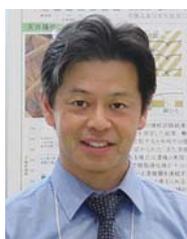
将来に向けて、コンクリートを作り、育む担い手は、建物と同時に、遺産的な情報を作り上げていることを意識する「文化人技術者」である誇らしい営みを行うべきであろう。

表5 コンクリートの環境配慮と文化性確保の流れ

			
1) 高炉徐冷スラグ：高温状態で放出し、徐冷後に製品利用	2) 再生骨材：高度処理で品質改善し、構造物利用を目標	3) 完全リサイクルコンクリート基礎：PCa製品として製造	4) 完全リサイクル住宅：2001年世界初のCRC住宅が竣工
			
5) ベルリンの壁の遺構：芸術的な作画が描写される(2001)	6) 琵琶湖疎水RC橋：1903年に竣工した国内初のRC構造物	7) ベルリン・ユニテダビタシオン：豊かなコンクリート造形	8) ル・コルビュジェの身体寸法：建物のモデュロールマン

## 参考文献

- 野口貴文ほか：ベーシック建築材料，彰国社，2010  
 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事，2018  
 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の環境配慮施工指針(案)・同解説，2008



## profile

### 田村 雅紀

工学院大学 教授

1973年岐阜県生まれ  
 専門分野：建築材料学  
 主要著書：「ベーシック建築材料」  
 「ものづくりからみた建築の仕組み」

## スチール編

工学院大学 教授 田村雅紀

### 1 はじめに

スチール（鋼）は、言われずと知れた、世界で共有可能な建設基幹材料といえる。国内では、高度成長期につくられた東京タワーや霞ヶ関ビルディングなどがスチールにより実現しており、今もその形状や外観からその存在感を伺い知ることができる。地球の地殻構成要素である鉄鉱石の採掘を端緒に、高炉などによる製鋼の歴史を経て、現在は、鉄骨造（S造）を中心とした様々な構造種別の建築物に登場する材料として広範な用途に普及し、まさに現代の社会基盤を成り立たせる源となっている。

### 2 スチールの歴史

表1にスチールの歴史を示す。国内では、明治初期までは伝統技法であるたたら製鉄により鉄づくりがなされ、その後、鉄鉱石を用いた高炉による近代製鉄技術に代替された。戦後復興期からは、非木造で耐火性に優れた都市構築に向けて大きな役割を果たした。世界的には、フランス・パリのエッフェル塔や、ニューヨーク・シカゴの摩天楼建築群など、高層建築という新しいジャンルの建築像が示され、スチール高層建築の幕開けを彩ったといえる。そして現在は、地球環境問題さらには気候危機を迎え、カーボンナノチューブなどスチールに代替可能な環境配慮の新材料も登場してきた。既存の仕組みにも影響を与えるような、新たな製造システム全体の再構築を図る気運も生じ始めている。

### 3 鉄の構成材料とその製造

表2にスチールの製造の流れを示す。そもそも鉄の原料となる鉄鉱石には、地殻構成成分であるSiO<sub>2</sub>が含まれるため、高炉での銑鉄製造過程でそれらを取り除く必要がある。そのため、コークス（C）および石灰石（CaCO<sub>3</sub>）を用い、鉄鉱石を石灰石とともに燃焼させた焼結鉱とコークスを、背の高い鉄溶融炉の上部から交互に入れ、下部より熱風と酸素（O<sub>2</sub>）を吹込み、一酸化炭素（CO）を含む還元ガスを生じさせる。このガスが焼結鉱中の酸素除去（2CO + O<sub>2</sub> → 2CO<sub>2</sub>）を行い、銑鉄として炉底に溜まる。さらに鉄鉱石成分の不純物（SiO<sub>2</sub>）除去のため、石灰石（CaCO<sub>3</sub>）と反応して得られる副産物の高炉スラグ（CaSiO<sub>3</sub> : SiO<sub>2</sub> + CaCO<sub>3</sub> → CaSiO<sub>3</sub> + CO<sub>2</sub>）を分離し、最終的にそれらをヤードに排出させて処理を施し、コンクリート製造原料にリサイクルしている。上記の一連の過程を通じて、大量のCO<sub>2</sub>が排出されるため、現在、CO<sub>2</sub>固定化を含めた大気放散を回避するための様々な技術開発が推進されている。

続いて、製造した銑鉄は、未だ炭素をはじめとする不純物や微量成分を含むことから、不純物除去と炭素量を中心とした成分調整を行う製鋼の工程が、転炉や電気炉で行われる。一般に、われわれが鉄と呼ぶものの多くは、炭素量が調整済のスチール（鋼）を指し、炭素量が0.5%以上含む最硬鋼から0.12%以下の極軟鋼までの炭素量で区別がなされた種類があり、純粋な鉄（アイアン）とは相違する。

これらの製造を実現する高炉の製鉄所は、巨大な土地と原料ヤードが必要になるが、鉄スクラップを原料に製鋼を行う電気炉施設は比較的小規模な施設で製造が可能であるため、国内の都市近郊部に分散して存在している。換言すれば、地産地消的な鉄スクラップの再資源化システムが構築されたものとして理解することもできよう。

### 4 スチールの製造・施工

表3に主な製鋼製品の施工の流れを示す。転炉製鋼、電気炉製鋼で製造された鋼片（スラブ、ブルーム、ビレット）は、加熱炉を用いて圧延される。圧延方法は、1000～800℃での熱間圧延、720℃～常温での冷間圧延に区別され、その後の熱処理（焼ならし、焼なまし、焼入れ、焼きもど

表1 スチールに関わる歴史

年	項目
B.C.3000年頃	エジプトでの使用が確認、B.C.1500年ごろに普及した製鉄技術の端緒となる
10世紀頃	紀元前300年頃に日本に伝わったたたら製鉄が広く普及
1901年	官営八幡製鉄所、日本初の鉄鋼生産をはじめ
現在	電気炉法の普及、環境配慮型の利用が基本になる

表2 スチール製造の流れ

			
<p>1) 鉄鉱石のかげら：酸化鉄と岩石成分 (SiO<sub>2</sub>他) の複合物</p>	<p>2) 鉄溶鉱炉：製鉄所の主要な設備。鉄鉱石を熱処理して溶かす</p>	<p>3) トービードカー（混鉄車）：溶融した鉄を転炉へ保温移送する</p>	<p>4) 高炉スラグの排出：不純物 SiO<sub>2</sub>を石灰石 CaCO<sub>3</sub>で溶融・固着する</p>
			
<p>5) 徐冷スラグ：CaSiO<sub>3</sub>成分に富むコンクリート用混和材・骨材</p>	<p>6) 解体コンクリート塊の鉄筋：現場内で再生原料用に分別</p>	<p>7) 集められた鉄スクラップ：転炉や電気炉工場で鋼片となる</p>	<p>8) 鉄筋コンクリート用再生棒鋼：圧延設備により異形棒鋼等の線材製品となる</p>

表3 主な製鋼製品の施工の流れ

			
<p>1) 3層一節長の鉄筋運搬：12m程の再生異形棒鋼で3階高さを確保</p>	<p>2) ガス圧接継手：高温ガス熱を使用し柱・梁等の主構造部が連結</p>	<p>3) 端部ねじ加工式継手：定着部の施工の合理性が確保</p>	<p>4) モルタル充填式継手：火・電気を使用しない環境・安全性が改善</p>
			
<p>5) 柱・梁接合部の鉄筋：型枠・鉄筋工事で構造体の骨組が構築される</p>	<p>6) 鉄骨建方のボルト締め作業：天候・安全に留意して技能者が実施</p>	<p>7) 大型I型鋼の継手：高力ボルト接合により確実な応力伝達を図る</p>	<p>8) 構造床の据付け：鉄骨梁上部のデッキプレート型枠工法を適用</p>

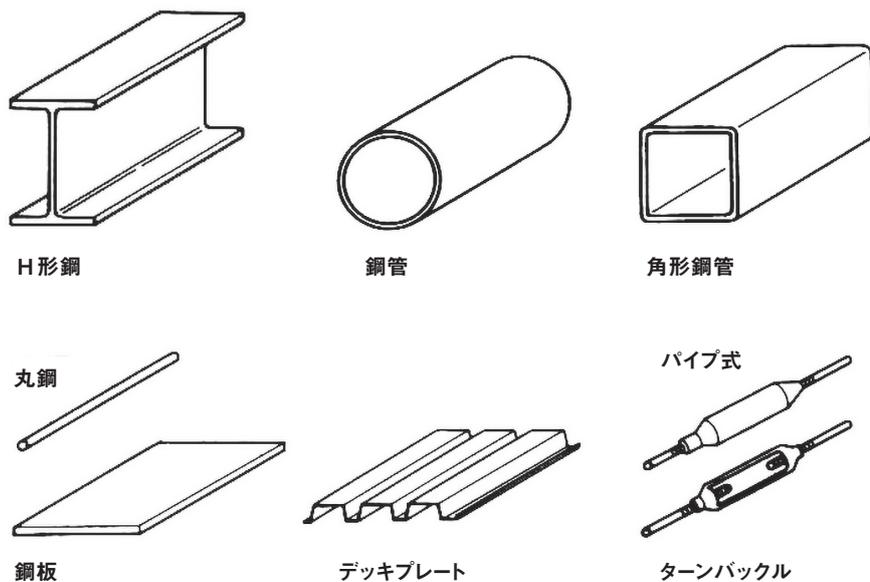


図1 各種スチール製品の例

し)を含め、製品の要求条件に合わせた加工成形処理を行いスチールの最終製品となっている。

ここではスチールの物性についての詳細は割愛するが、木材やコンクリートと比べて、強度が高く、剛性・弾性係数が大きく、破断に至るまでの変形量が大きいなどの特徴を踏まえ、製品開発が幅広くなされている。例えば、RC造に関して言えば、コンクリート用再生棒鋼の存在でRC部材が成立しており、その異形鉄筋は、製造工場で最大12mの3層一節となる製品として出荷される。建設現場では、ガス圧接や機械式などの継手方法により、一体・長大化が図られ、構造体の骨組となっていく。S造に関しては、**図1**に各種スチール製品の例を示すが、形鋼を用いて鉄骨建方が行われ、鉄骨どうしは、高力ボルト接合により接続される。確実な応力伝達を図る構造架構が成立した後に、デッキプレート型枠工法などが適用されて構造床の据付けが完了する。このように、構造安全性を確保して、安全・安心となる施工技術であることを前提に、長期耐用が可能な建物を実現している。

## 5 スチールの環境影響と文化性

昨今差し迫った気候危機の問題がある環境下において、次世代におけるスチールの製造体系は十分に環境配慮のなされたものに転換する必要があるといえる。現在、その取り組みが積極的に進められていることに大きな期待を込めたい。今後は、そのような新たな材料開発基盤の上でスチールを用いた建物の文化性を確保するような道程を歩んでいけるかが重要となろう。過去に鉄にクロムを11%以

上含有させて成立したステンレス(さびない鋼材)を建築に積極的に採用した時のような新技術の台頭も今後は必要となろう。今現在、国内の丹下健三の東京カテドラル聖マリア大聖堂の外壁や、海外アメリカのアールデコ調のクライスラービルの尖塔部分の輝きなどは、時を経ても失われない当時のままの光沢感を引き出している。その姿が示す建築的価値は、ステンレスを登場させた当時の初期投資費を超えて、未永く形をとどめられる材料的価値により実現された明解な技術的貢献により支えられている。

### 参考文献

野口貴文ほか、ベーシック建築材料、彰国社、2010  
日本建築学会、建築工事標準仕様書・同解説JASS5 鉄筋コンクリート工事、2018



### profile

**田村雅紀**

工学院大学 教授

1973年岐阜県生まれ  
専門分野：建築材料学  
主要著書：「ベーシック建築材料」、  
「ものづくりからみた建築の仕組み」

# 建 材 への道のり

連載

vol.11

## 木材編

工学院大学 教授 田村雅紀

人類が居住する仕組みの構築に大きな影響を与えた。

国内では、縄文時代中期の大規模集落である青森・三内丸山遺跡にて、多数の住居跡が発見されている。写真1に示すように住居内の空間を確保するため、柱材として木(栗材)が用いられている。奈良・唐招提寺・経堂の校倉は、現在国内で最も古い8世紀建立の建物である。校倉により通気性を確保する仕組みが備えられており、木の特性を活かした居住環境内での保存の仕組みを構築する契機になったといえよう。

### 1 はじめに

木材は、広く知られた酸素発生型の光合成反応( $6\text{CO}_2+6\text{H}_2\text{O}\rightarrow\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6+6\text{O}_2$ )により、セルロース、ヘミセルロース、リグニンなど、無数の細胞で構成される地上最大量の有機物といえよう。今から3億年以上前の古生代期における海中植物の生育に端を発し、やがて地上で根を下ろす樹木となった。今は、陸地における水源の涵養機能や、CO<sub>2</sub>吸収源など環境保全的な役割も担う、再生可能な資源と位置づけられている。建築材料としても、最も古くから使われてきたものの1つであり、高度な加工の必要がなく用いることができ、素材の性質の寄与が大きい、他の建材とは趣向の異なる建材といえよう。

### 2 木材の歴史

表1に木材の歴史を示す。人類は、文明発達の当初から木材を利用しており、日常的に火を使う生活の流れと併せて、住居の資材として積極的に活用し、結果として木材は

### 3 木材の材料的性質

表2に木の様々な側面と木材としての性質を示す。ここでは国内の森林特性や樹木に関わる詳細については説明を割愛するが、日本は国土の7割近くは森林であり、建築用木材となる多様な樹種が存在している。針葉樹であれば杉、松、檜などが、広葉樹であれば樺、栗、槲などが代表とされ、それぞれの硬さ、粘り、密度、加工性、寸法安定性、耐久性、そして色調などの性質を見極めながら、建物の構造材から造作材に至るまで、幅広い用途に使用されてきた。その中で特筆すべき点として、日本の国土全体は、陸地の沈降・隆起などの影響で、山林を含む土地・地域性が多様であり、木材と生活との関わりに広範な価値観が育まれてきたことが挙げられよう。生活利用された古木の発見に始まり、木の芳香性を活かした産業活動、森林の利用・管理方法の普及、そして建材としての木材の加工方法など、木材の材料的特性を活かして資本を生み出す努力と営みが歴史的にも積み重ねられ、その果実が今の遺産的価値を有する建造物の保全にも大きく繋がっている。

表1 木材の歴史

年	項目
縄文時代中期 (B.C.3000年頃)	国内に大規模集落が発達、青森・三内丸山遺跡の巨大住居跡には栗材が活用
弥生時代 (B.C.1000～300年頃)	食材保存の役割を果たす校倉も登場、木造の加工・利用技術が発展
飛鳥時代	世界最古の法隆寺や世界最大の東大寺大仏殿など、大規模な寺院・宮殿が建立
戦後復興期	豊富な森林資源を活かし、大量の木材を活用した木造住宅が拡大的に普及



写真1 縄文～弥生時代の木造に端緒を見る (左：青森・三内丸山遺跡・木柱 / 右：奈良・唐招提寺・日本最古の校倉)



表3 建築用木材としての変化ある歩み

			
1) 改修中の銀閣寺(2008)柿葺き屋根は世界で無類の華麗な伝統技術	2) 樫材の鮮やかな橙色:木材は全て古風美を醸し出す前の色を持っている	3) エイジングした姿への慣れ:皆知る建築の姿は木材としての終焉に向かう足どり	4) 傷んだ銀閣寺(2008):木材への光・雨水・カビ影響は継続し、やがて更新される
			
5) 春材と秋材:育ち早さの違いは櫛引状の傷みを生むが重ね代で守られる	6) 気候と土地と食害:ヤマトシロアリは甘くて柔らかい組織を選ぶ	7) 木造の火災危険温度:260℃を超えて可燃性ガスが着火し燃焼する	8) がれき・廃木材(2011):東日本大震災で家屋が崩壊し生じた様子

図1に樹木の組織の名称と構成を、図2に木材の含水率と収縮性状を示す。日本国内において、樹木を建築用木材として長期利用するために、含水率が少ない時期に、伐採をする施工技能や、樹木の組織構成を踏まえた木取りの方法、乾燥時における収縮特性を踏まえた木材の利用方法など、樹木の特性を物理化学的に捉えながら製造技術・施工技能を発展させてきた歴史が伺える。多くの技術者・生活者による木と寄り添う意識の蓄積が、今日の木材利用の姿を築いてきたといえよう。

#### 4 木材の耐久性・維持保全

表3に、建築用木材としての変化ある歩みを示す。木材は、有機物であるが故に、人間の体と同じく紫外線による光劣化や加水分解の影響を大きく受ける。樹木を製材した後、建築部位に一旦据え付けられると、その方位・場所の影響を受けた劣化が生じる。特に、雨仕舞に関係する部位の劣化は顕著であるため、例えば柿葺き屋根などは、複層重ねの構法により表層材の劣化を許容しながらも、最終的に居室部への漏水を防ぐ機構が備わっている。恒久的に使用する部材、定期更新を行う部材などの区別もあり、その仕組みを理解した施工技能者の職能の育成・伝承とあわせて、建物全体の長期耐久性が確保されてきたといえる。一

方で、シロアリの食害やカビ腐食などのように、小さな生物や菌類の存活動に伴う劣化作用の影響は、建物を健全に維持保全する上で未だ解決されていない課題といえる。そして、建築物の火災対策は平時における最も重要な備えでもあり、自然災害が多発する近年においては、地震や津波など激甚的な災害インパクトに対しても、最終的に人命とその生活が損なわれないように、新たな木造の建物の仕組みを構築する必要がある。

#### 参考文献

野口貴文ほか, ベーシック建築材料, 彰国社, 2010  
日本建築学会, 建築工事標準仕様書・同解説 JASS11 木工事, 2005



#### profile

#### 田村雅紀

工学院大学 教授

1973年岐阜県生まれ  
専門分野: 建築材料学  
主要著書: 「ベーシック建築材料」,  
「ものづくりからみた建築の仕組み」

## 木質材料編

工学院大学 教授 田村雅紀

### 1 はじめに

現在の国内1.2億の人の生活が、広く「住宅」という居住環境で営めるようになったのは、木質材料による建築技術の発展と、住宅への拡大的普及による影響が大きいといえよう。木質材料は、天然木と相違し、原材料となる木材の有機材料を大小の元素に分解したのち、それらを接着剤などで集合させて再構成し、柱などの軸材や壁下地などの面材として建材化したものである。元素となる材料は、大径木から採取される長尺のひき板にはじまり、工場端材や間伐材などの未利用木材も対象となるため、いわば、酸素発生型の光合成産物 ( $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ ) を廃棄が生じないように完全利用する、原材料資源循環でのカーボンネガティブな建材として、最大限の可能性を追求した建材ともいえよう。

### 2 木質材料の歴史

表1に木質材料の歴史を示す。人類は、風雨・乾燥を避けるような住居形態を生み出すため、木材による軸材利用を端緒に、やがて合板のような面材も生活に組込むようになり、木材として素材的な役割を広げていったと想像される。軸材・面材が組み合わせられることで、上方・側方に伸びた矩形の空間構成の実現が可能となり、縄文時代中期においては、大規模集落が形成されるようになった。そして、樹高を超えるような木造を構築するための次なる展開として、重ね合わせと継手により大径木を再構成する構造

用集成材が成立した。結果、東大寺大仏殿のような居住用ではない新たな建築用途の建物が実現できたことは、需要拡大を生み出す更なる契機にもなったといえよう。

### 3 木質材料の原材料

表2に木質材料の元素となる原材料の姿を、表3に木質材料の元素の製造を示す。木材および木質材料は、周知のように紫外線・降雨などの外的影響により有機組織の劣化・成分溶出が生じ、使用環境によっては無機材料と比較すると材の耐久性が著しく低下する。同様に、物理化学的な物性もさほど強固なものではないため、一定の加工方法により容易に切削・分離・分解が可能となっている。それらの特性が、木質材料の元素となる原材料の対象やその製造方法に密接に関係している。

### 4 木質材料の製造方法と材料的性質

図1に木質材料の製造方法の概要を、表4に木質材料元素による軸・面材の姿を示す。

木質材料は、木の原材料を細分化することで、原料形状の種類・寸法などが異なっても、軸材や面材の製品原料に活用することができる。軸材の代表である集成材については、元素である「ひき板(ラミナ)」に原木の素材特性が残存する。重ねにより再構成する方向が同一のため、製品物性への影響も生じやすい。同様に、面材の代表である合板は、元素として「単板(ベニア)」を用いており、集成材と同様に単板の素材特性が残存する傾向がある。従って、これらはJAS(日本農林規格)により、最終製品の製造・品質管理がなされている。

一方、面材の代表といえるパーティクルボード、OSB(オリエンティドストランドボード)とOSL(オリエンティドストランドランバー)、ならびにファイバーボードのそれぞれの元素は、「パーティクル(小片)」、「ストランド(木削片)」ならびに「ファイバー(繊維)」である。これらの元素は、素材特性の影響が生じない程度まで細分化されている。元素の再構成時の積層・圧密の方向性はランダムとなるため、面材としての強度や変形抵抗

表1 木質材料に関わる歴史

年	項目
B.C.2500年	古代エジプトにて薄板を接着した材が確認される
1708年	世界最大級の木造建築である東大寺大仏殿の再建時に、高さ48mの木造軸柱に集成材工法が適用される
1907年	面材の要素を構成する単板のベニヤレースが実用化されたことで、それらを積層した合板の工業化が始まる
1950年以後	戦後復興期より、構造用集成材の開発が推進され、大型建造物への適用が始まる。



樹高を超える木造による用途展開(大仏殿とその柱)

表2 木質材料のエLEMENTとなる原材料の姿

			
1) 製材端材：主材は構造軸材に利用され、残材は小片などの原料となる	2) 未利用木材：森林涵養のための間伐材が有益な資源循環に繋がる	3) 住宅解体材：分別解体の促進が廃材利用の目的を相互に補完する	4) 震災廃木材：東日本大震災(2011)でも循環処理で原料化が積極的に検討された

表3 木質材料のエLEMENTの製造

			
1) 木片チップ製造：種類・寸法に併せた工業的処理システムの実現と運用	2) 木から木繊維製造：紙パルプ製造のファイバーの一部も原料化	3) 木片寸法ごとの積層化：細・粗・細の組合せで積層し、圧縮処理。強度特性も改善	4) 単板の製材・保管：集成材に再構成する前の均質な単板の製造・保管状況

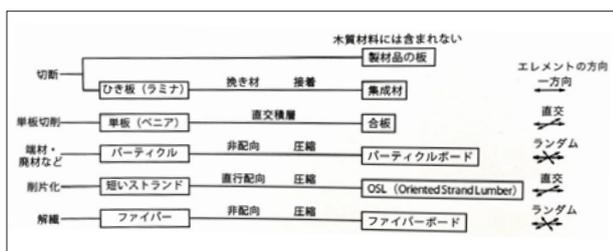


図1 木質材料の製造方法の概要

性にばらつきがなく均質化される。従って、その加工度が高くなることからJIS（日本産業規格）により製造・品質管理がなされる。これらの性質により、逆に解体木材、更には災害がれき木材なども原料化できる特性があり、建設廃木材の発生抑制に大きく貢献する状況を生み出している。

## 5 木質材料の軸・面材料による建築の姿

表5に木質材料の軸・面材料による建築の姿を示す。日本の国土の7割近くは森林であり、これらの木の材料的特性を活かして資本を生み出す営みが歴史的にも積み重ねら

れてきた。高度成長期以後より続いてきた巨大な住宅市場を維持するために、建築用木質材料としての製造技術・施工技能を積極的に発展させてきた様子も伺い知ることができる。なお、所定の建築部位・部材に据付けて再構成した後でも、本質的には天然木材と同様に、方位・場所に依存して、紫外線による光劣化や加水分解などの劣化作用は生じる。今後は、健全な建物のストック化とカーボンニュートラル性を重視した社会基盤づくりが目標とされ、建物の一部としての恒久的な使用や、定期更新を伴う適用も広がりつつある。その仕組みを理解する製造者・施工技能者の職能の育成・伝承や、建物全体の長期耐久性の確保に向けた取組みが極めて重要といえる。

そして、近年の温暖化の影響も含めて自然災害が多発する状況においては、木質材料を用いた建物の災害対策は当然のこと、風水害や地震や津波などの激甚的な災害インパクトに対しても十分なレジリエンス性を備える必要がある。密度が小さく加工が容易である有機物系材料を用いた建築物により、人の生活と人命が損なわれないよう、新たな課題を的確に見出し実証する役割と責任は大きいといえる。

表4 木質材料エレメントによる軸・面材料

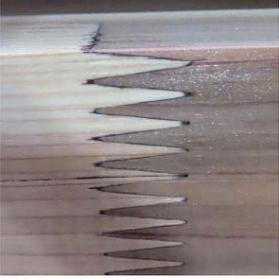
			
1) ラミナの弱部処理:種・方向の弱部を相殺する重ね・切欠の処理を行なう	2) ラミナの積層用接着剤:レゾルシンノールなどによる、積層状態で一体化する	3) ラミナの継手処理:フィンガージョイントの摩擦接合で長軸化を図る	4) 大断面集成材製品:トラック輸送を可能とする12m程度の長大スパン材
			
5) パーティクルボード: 接着剤塗布後、一定の面積・厚さに熱圧成型化する	6) 平常・災害時の共通技術の運用:震災廃木材も混和したボード製品	7) OSB: ストランド切削片を直交積層化し、構造用パネルでも使用が可能となる	8) クッション合板床材: 単板の弾性を活かし、変形・衝撃吸収を実現する

表5 木質材料の軸・面材料による建築の姿

			
1) コンクリート型枠合板: 安定した平滑面が構築されるが、再使用の課題は継続	2) 構造用合板: 構造耐力が必要な部位に使用され、建物外壁を守る	3) 多様な部位用途への展開: 壁・床・サッシ・造作材などに多品種化が実現	4) 特殊建築物への適用: 防耐火性能の確保と安全性検証に向かう取組み

## 参考文献

- 野口貴文ほか, ベーシック建築材料, 彰国社, 2010  
 田村雅紀ほか, 震災廃木材を利用した木片コンクリートの基礎的物性, 日本コンクリート工学会年次大会論文集, Vol.40, No.1, 2018  
 田村雅紀ほか, 災害時のレジリエンス対応技術と資源ストック利活用の接点, 日本建築学会大会地球環境部門PD資料, 2014



## profile

### 田村雅紀

工学院大学 教授

1973年岐阜県生まれ  
 専門分野: 建築材料学  
 主要著書: 「ベーシック建築材料」,  
 「ものづくりからみた建築の仕組み」

# 建 材 への道のり

連載

vol.13

## 茅材編

工学院大学 教授 田村雅紀

### 1 はじめに

古来より、日本建築には数多くの植物材料が用いられてきた。茅（かや）や藁（わら）もそのひとつであり、一般に植物の組織を構成する維管束が一定の配列で集まった束状の構造を有している。

茅はイネ科の多年草植物を屋根葺き材料として用いた際の総称であり、その原料としては、水辺で生育したヨシ（アシ）、陸地で生育したススキなどが当てはまり、生育場所呼び名が変わる。茎の太さで用途が分かれる傾向もあり、一般にススキはヨシよりも茎が細い。双方ともでんぷん質を蓄えて実を成らすことはないので茎の耐久性が優れ、古くから屋根材として用いられてきた。一方、藁は、稲藁や麦藁の刈取り後の茎を採取して用いる材料のため、繊維組織が弱くて腐りやすく、一般農家の屋根や納屋などに限定的に用いられてきた。

### 2 茅の歴史

茅葺きによる屋根は、ススキやヨシなどのイネ科の植物

が育つ世界各地で用いられており、最も原初的な屋根といえよう。日本では農耕の始まりとともに茅を用いた屋根だけの住居が作られたと考えられており、縄文時代に広がった竪穴式住居はその典型といえる（表1）。12世紀末になると、自然素材によるわび・さび（侘・寂）の精神性を表現した「草庵風茶室」と呼ばれる建築が登場し、茅材は屋根材の表層や支持部で多用され、茅材としての個性が大きく発揮された建築となった。そして現在、式年遷宮で知られる伊勢神宮・内宮の茅葺屋根が定期的に葺き替えられることや、合掌造りで知られる白川郷・五箇山の集落における地域住民の共同作業である「結（ゆい）」の文化が形成されていることなど、茅自身の素材としての特性がその土地の風土や建築文化に大きな影響を与えていそうである。

### 3 茅の性質

表2に茅の性質を、表3に茅材の生育と採取・保管を示す。茅は、樹木にならない植物であり、温帯から熱帯にかけての湿地帯に広く分布する。成長するに従い、地上には茎と葉が、地面下には地下茎と根が形成され、十分な気温と適度な日照ならびに水分の供給が得られる夏によく成長する。刈取りは秋から冬にかけて行われ、乾燥処理後に屋根材料を中心に用いられている。

### 4 茅葺き施工

日本の各地には、現在、茅を屋根に用いた古民家が数多く残されている。日本民家の屋根形態として代表的な寄棟造り、切妻造り、入母屋造りの屋根をはじめ、地方に特有の合掌造り、曲り屋、かぶと造りなど、様々な屋根形態を有する古民家に茅葺きが適用されてきた。また、歴史的・

表1 木質材料に関わる歴史

年	項目	
縄文時代中期	農耕が始まり、ススキ・ヨシのイネ科多年草の草原が拡大。竪穴式住居など、茅を用いた屋根だけの原初的な建物が発達	
鎌倉～安土桃山時代	庶民の住まいから自然素材を多用した草庵風茶室、更には大規模な社寺などの屋根葺き材に多用される	
江戸時代	防火対策で茅葺きによる屋根施工が禁止される事例があり、屋根形式が多様化する	
現代～	地場産業の活性化や伝統的建造物の保存再生の動向とともに茅葺屋根の建築が復興	

三内丸山遺跡・青森（縄文）

京都高台寺傘亭・京都（安土桃山）

表2 茅の性質

分類	骨格主成分
ススキ	陸地で採取されるため、山茅とも呼ばれる。原初的な屋根である茅葺屋根の中心的材料であり、茎に含まれる水分が多いと腐朽が生じやすくなるため、採取時期と乾燥条件に配慮がなされ、材料の耐久性を高めるためには煙で燻す場合もある。
ヨシ	水辺で採取されるため、ウミ茅とも呼ばれる。生育環境によっては、地下茎が1年に数m程度伸び、暑い夏によく成長し、干潟や河川の下流域や干潟などにヨシ原を分布させる。北上のヨシ原は有名である。

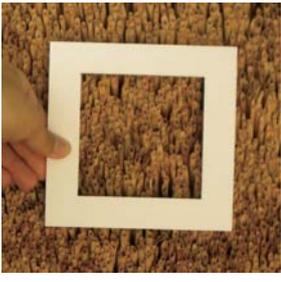
表3 茅材の生育と採取・保管

			
1) ヨシの茅場（北上川）：水辺に生育。腐食しにくい秋冬に採取	2) 茅材の保管：茅場で採取した束を、乾燥状態で保管	3) 茅葺材の利用：重ね束にして運搬し、現場で屋根材に利用	4) 簾材への利用：日除け等のため全国のホームセンター等で販売

表4 茅葺屋根の施工方法

			
1) 屋根架構材の施工：竹垂木で野地面を作り、茅材取付けの準備	2) 平葺き面の施工：専用の針で垂木を介し茅束を固定	3) 平葺き面の叩き処理：屋根形状を整え、刈込み仕上げの準備	4) 大ハサミによる刈込み：茅の根元を刈込み、真葺面が揃えられる

表5 茅葺屋根の形態特性

			
1) 茅端部：ヨシは中空で、スキは白・赤の真綿状物質を有する	2) 茅の面密度：10cm角内に含まれる茅の本数の測定状況	3) 屋根断面の束密度：軒先60cm程に茅束3層程の重なりを確認	4) 屋根断面の形状：各種の勾配屋根で防水性・断熱性を確保

文化的な価値が高い国宝級の建物や、伝統的建造物群保存地区の建物などにおいても永きに渡り茅葺きが適用されてきた。

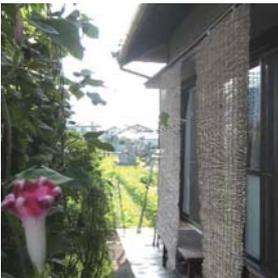
表4に茅葺屋根の施工方法を、表5に茅葺屋根の形態特性を示す。茅葺屋根は、竹垂木による野地面を形成して屋根材を支え、一般的に茎の根元を下に向けて葺く「真葺（まさぶき）」で葺き上げ、屋根裏側から表層にかけて、断熱層にもなる重厚な屋根層を形成する。なお、穂先を下に

向ける「逆葺（さかぶき）」も存在するが、屋根厚さが関係する耐久性の観点から、日本では限定的な建物にしか用いられていない。

## 5 木質材料の軸・面材料による建築の姿

表6に茅材の利用・展開を示す。茅材は身近にある植物材料であったことから、日々の生活や住まいを営む上で必

表6 茅材の利用・展開

			
<p>1) 軒先を飾る簾：日本建築の軒の深さを活かす新たな試みの展開</p>	<p>2) 茅葺屋根の構築手順：断面部材で工程の可視化に貢献</p>	<p>3) 消防対策技術の開発：茅葺向けの新技术により伝統技術を長命化</p>	<p>4) 部位用途の拡大：屋根から壁に展開し、新たな遺産的価値を拡充</p>

要な用途を具体的に位置づけて、使用・維持することは非常に重要な取り組みといえ、旧来からある堆肥利用などの仕組みを再構築する観点も、現代になり改めて評価されている。SDGsのゴール15に「陸の豊かさを守ろう」とする開発目標があるが、茅材の新たな用途開発や維持保全対策を検討するにあたり、自然素材の特性を陸や海といった大局的な環境保全の観点からうまく展開させる仕組みが必要といえる。

一方で、近年は伝統的な建物による観光資源価値が再評価されているため、屋根材の防火対策など、素材そのものの劣化現象に起因した基礎的な課題の解決に加え、安全性を担保した上で茅葺きが適用される部位用途の拡大を図るような新たな視点を構築する取り組みも大切である。

### 参考文献

野口貴文ほか，ベーシック建築材料，彰国社，2010  
 全国社寺等屋根工事技術保存会，先人達の屋根技術，2009



### profile

**田村雅紀**

工学院大学 教授

1973年岐阜県生まれ  
 専門分野：建築材料学  
 主要著書：「ベーシック建築材料」，  
 「ものづくりからみた建築の仕組み」

## 藁草編

工学院大学 教授 田村雅紀

### 1 はじめに

古来より、日本建築には、数多くの植物材料が用いられてきた。茅材となるススキやヨシと同様に草本類の植物である藁草（イグサ）もそのひとつであり、組織を構成する維管束が集まった細長い束状の構造を有している（図1参照）。藁草を用いた主要な建材建具といえるものに畳があり、細径の茎を糸で編み込む加工を施して、畳表やゴザなどの材料として平安時代から広く用いられてきた。畳は、建築空間における基準寸法の成立に重要な役割を担うと

もに、いわゆる「和」の空間の雰囲気づくりに多大な影響をもたらしたことから、本稿では、藁草の代表的な用途である畳について述べたい。

### 2 藁草による畳の歴史

表1に畳の歴史を示す。畳の名称は「たたむ」という語源からきており、平安時代になると、稲わらでできた畳床を、藁草の畳表でくるみ、畳縁で縫いとめたものが普及した。その後、生活様式が、畳の扱い方に影響を及ぼすようにもなり、儀礼や年中行事に応じて畳を敷き替える風習も生まれた。

鎌倉時代になると、「庵」という建物様式が確立し、室町時代には、千利休により「草庵風茶室」と呼ばれる茶室建築が生みだされ、庭の中に庵を建て、主人が客に茶をもてなす炉のある畳間が設けられるようになった。現代では、ホテルや商業ビルなどの一角にも造られるようになり、茶道の稽古などに用いられたりもする。茶道では、質素で静かなものを求めるわび・さび（侘・寂）の精神を感じ取ることがひとつの目的となるため、藁草による畳を有した空間は、その境地に辿り着く手段として大きな役割を果たしてきたといえよう。



図1 藁草の外観と特徴

表1 藁草による畳の歴史

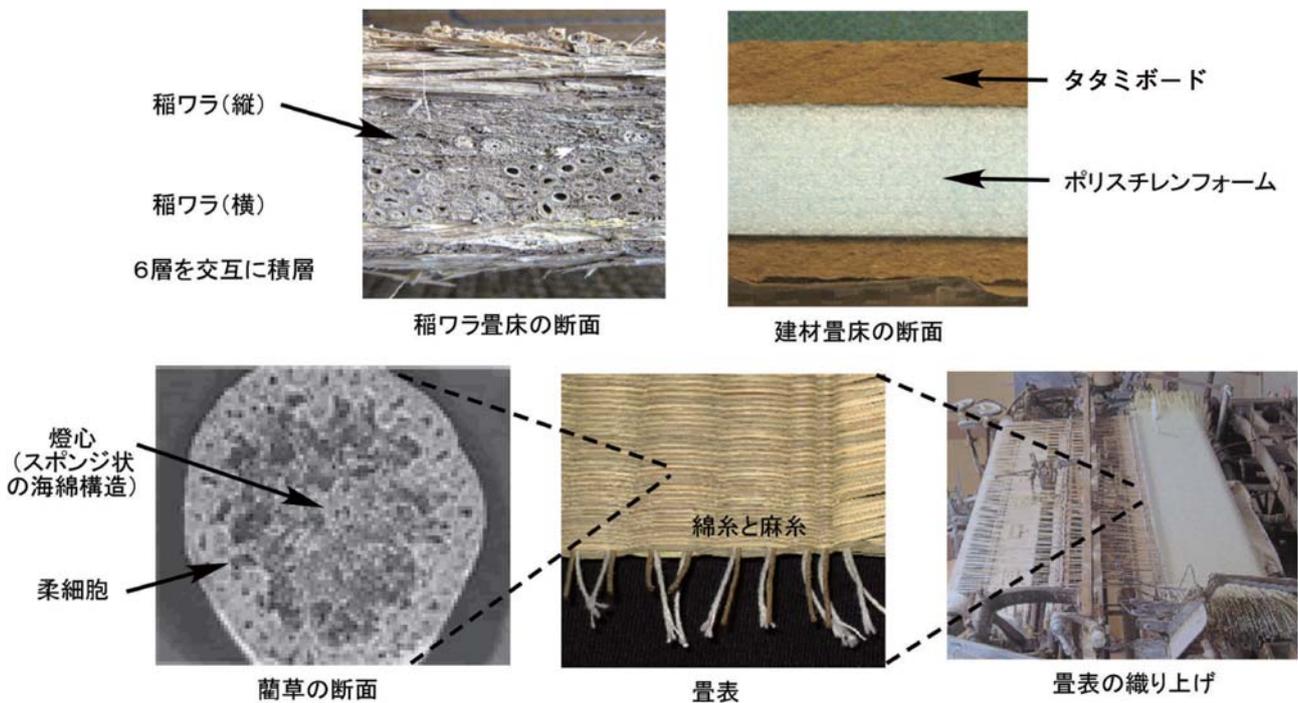
年	内容
飛鳥時代	712年の古事記に「菅畳（スガタタミ）」の記述がある。これは、スゲを折込んだ敷物を重ねたようなもので、畳床はついていない。
平安時代	現在の畳に似た構造となり、板敷の上に寝具として置いて使用した。畳の厚さやへりの柄・色などの種類があったとされる。
室町時代	書院造の建築様式が登場し、部屋全体に畳を敷きつめた畳敷きが一般化した。茶の湯文化の普及に伴い、利用が拡大した。
江戸時代	武士の豊かさの象徴となり、身分による使用制限も生じた。茶道や数奇屋建築が普及した後は、一般町人の家にも畳が敷かれ、畳師・畳屋と呼ばれる仕事も広がり、社会での普及が進んだ。
現代	建築の高気密化・洋風化に伴い、藁草による畳を敷き詰めた和室は減少傾向にあるが、板間の上に敷く薄厚の畳などが新たに登場している。



写真1 藁草による畳表を縫いつけた畳

表2 畳床、畳表、畳の概要

畳床の主な区分	主な寸法区分	関連規格
稲わら畳床 (特、1、2、3級)	本間 (京間) : 100W (2000 × 1000 × 50mm) 三六間 (中京間) : 95W (1900 × 950 × 50mm) 五八間 (江戸間) : 92W (1840 × 920 × 50mm)	JIS A 5901 稲わら畳床および 稲わらサンドイッチ畳床
ポリスチレンフォームサンドイッチ稲わら畳床		
タタミボードサンドイッチ稲わら畳床		
建材畳床 タタミボード、ポリスチレンフォームによる 複合構成 (I、II、III、K、N形)	本間 (京間) : 100W (2000 × 1000 × 50mm) 三六間 (中京間) : 94W (1850 × 940 × 50mm) 五八間 (江戸間) : 91W (1820 × 910 × 50mm)	JIS A 5914 建材畳床
畳表の主な区分	主な寸法区分	関連規格
縦糸が麻糸のもの (特、1、2級)	1種表 (本間) : 95cm (+0.5cm) × 103cmの整数倍 (+30cm) 2種表 (三六間) : 91cm (+0.5cm) × 91cmの整数倍 (+30cm) 3種表 (五八間) : 89cm (+0.5cm) × 96cmの整数倍 (+30cm)	JAS 1017 畳表
縦糸が綿糸のもの (1、2、3級)		
畳の主な区分	主な寸法区分	関連規格
JIS畳床に畳表及び畳縁などを 縫いつけたもの	95W-55 : 1910 × 955 × 55mm (畳表1種表) 91W-55 : 1820 × 910 × 55mm (畳表2種表) 88W-55 : 1760 × 880 × 55mm (畳表3種表) 88W-60 : 1760 × 880 × 60mm (畳表3種表)	JIS A 5902 畳



### 3 蘭草による畳の性質

表2に畳床、畳表、畳の概要を、写真2に畳床、畳表とその原料を示す。畳の大きさによる区分は、一般に、本間 (京間)、三六間 (中京間)、五八間 (江戸間)、五六間 (団地間) などに分けられており、その他にも地域ごとの様々な特徴がある。京都・奈良の寺を訪れた際に、間取りの広さが自然と感じられるのも本間のモジュールの大きさが影響している。歴史的には、京都を中心に部屋の寸法構成における一間の寸法を、6尺3寸の畳を基準 (畳割り) としたことや、江戸を中心に、柱を基準 (柱割り) に6尺の倍数

で柱を立てたことの影響が大きい。ちなみに、一間の寸法は、江戸時代の年貢米の採取に関わる検地竿 (間竿) の長さが基本単位になったとされている。

畳床は、いわゆる畳の心材であり、伝統的に用いられてきた稲わら畳床は、乾燥した稲わらを強く圧縮して縫い止め、最終的に厚さ50mm程度の板状に加工したものである。建材畳床は、ポリスチレンフォームとタタミボードなどを用いて構成され、JIS規格にも分類がある。これらは、保温性、弾力性に優れ、室内の調湿作用や空気浄化作用などもあり、材料の組み合わせにより寸法的、品質的な変化を多様に持たせることも可能である。

畳表は、藁草を格子状に製織したものであり、畳一帖分に使用される藁草は5,000本程度といわれている。藁草は、国内では熊本、広島、岡山などを中心に栽培されており、冬に植え付け、夏に1mを超える程に成長したものをを用いる。茎が長く育っても倒れることがないのは、その断面内部に、円筒状の維管束の骨格とスポンジ状の充填物（燈心）があり、弾力性と柔軟性を備えたコアの骨格が形成されているためである。なお、畳表の糸は、綿・麻の糸他があるが、麻糸だと強度が勝り、藁草を強く織りこめるため、畳目が強く出て表面の高級感が向上するといわれている。

#### 4 藁草による畳の製造・施工

近年は、鉄筋コンクリート造建築物などの気密性・断熱性に富んだ条件に合わせた畳が選定されることも増えている。実際に、藁草の代わりに和紙や樹脂で製造した繊維を折り込み製造した化学畳表が登場しており、着色の多様性、日焼防止性などの特徴を活かした利用の展開が模索されつつある。畳床のJIS規格に含まれるポリスチレンフォームサンドイッチ稲わら畳床は、断熱性と耐湿性に優れ、防カビ・防虫効果なども期待できるポリスチレンフォームと、稲わらを合わせたサンドイッチタイプとして数多く製造されている。現在の畳床の製造は、多くが機械制御でおこなわれており、裁断・縫いつけ・仕上がりまでの製造面での合理化を果たしつつ、バリアフリー化に対応するため、一般的な畳厚さである55mm程度よりも畳自体を薄くしたもの（薄畳）を用い、生活様式の多様化に応える技術も導入されつつある。

古来からの日本建築とその生活様式に深く関わる形で畳は長らく用いられてきた。現在、コロナ禍を始め、世界的に社会情勢が不穏な状況下であるが、地球環境問題の改善や豊かなコミュニティの再建などを重視するロハスの意識なども広く知れ渡りつつある。藁草による畳を用いた茶室建築に代表される空間は、これらの考え方に共鳴する理念を求められそうであり、古（いにしえ）の伝統を新しい時代の中で再び根付かせることができるかもしれない。

#### 参考文献

野口貴文ほか、ベーシック建築材料、彰国社、2010  
マンガ畳ミニ百科、全国畳振興会、1992



#### profile

##### 田村雅紀

工学院大学 教授

1973年岐阜県生まれ  
専門分野：建築材料学  
主要著書：「ベーシック建築材料」、  
「ものづくりからみた建築の仕組み」

## 紙編

工学院大学 教授 田村雅紀

### 1 はじめに

紙は、触れたことがない人はいないといえるほど、今では生活の中に当たり前存在する材料となっている。これらは、地球の表面を覆う光合成同化産物である草木類などの植物組織を用い、地球最大量の有機物ともいえるセルロース等を主原料としていたもので、建材として利用する際もその素材感が直接感じとられる材料といえよう。紙は人間社会における文化のバロメータといわれてから久しく、人類は有史以来、紙を発明して幅広く利用することで、様々な生活文化も構築してきた。建築物においても、中世の時代より、建具や内装材などに数多く用いられ、今に続く、紙を介した建築の姿を世代を超えて伝えている。

### 2 紙の歴史

パピルスについて耳にしたことがある人は多いと想像されるが、これは紀元前3000年頃よりエジプトで用いられており、草の繊維を縦に裂き、シート状に重ねて作られている。その後、羊や子牛の他、様々な動物の皮を処理・加工して紙媒体とした羊皮紙や、木や竹を札状にして束ねて成形した木簡・竹簡など、今の紙の端緒となる、情報を伝

達・記録する媒体が存在していた。なお、これらは文字の筆記は可能であるが、いわゆる「紙漉き」の工程を経ないため、一般にいう「紙」とは相違する。

日本では、4～5世紀より紙漉きが始められ、飛鳥時代に仏教が伝来して紙が本格的に利用されるようになり、以後、福井・越前や岐阜・美濃の産地で和紙漉きが始まった。鎌倉時代以降は、今でいう紙のリサイクルともいえる古紙を用いた宿紙が登場して日常の生活に浸透するものとなり、障子紙、襖紙、壁紙などの建材として普及拡大し、建築における紙文化が構築されたといえる(表1)。古典文学においても、障子や襖を介した豊かな空間情景が描写されており、現在も日本建築の空間構成要素として、重要な役割を果たし続けている。

### 3 紙材の基礎的性質

建築で用いられる紙といえば、和紙を用いた障子、襖などが思い浮かぶ。これらの建材は、紙の素材的性質がその機能・性質に大きく影響を及ぼすものとなっている。紙はJIS規格では「植物繊維その他の繊維を膠着させて製造したもの」と定義されており、建築に使用される紙も、植物繊維の一加工形態として捉えることができる。主成分となるセルロース繊維は、 $(C_6H_{10}O_5)_n$  で表される炭化水素化合物で、分子中に水酸基(OH)を数多く含み、水素結合による化学的な結合により立体的な膠着状態が生じているが、水素結合は一旦水が含まれると解かれる。そのため、紙を建材に使用する際、建材としての形態を保持するためには、防水性を保つ必要がある。

表2に紙繊維の特性を示す。紙の接着性に関わる繊維の形状特性については、洋紙などの木材パルプを用いた紙繊維は、繊維が短く滑らかであるため、繊維同士の膠着力が働きやすく、機械的な絡み合いによる接着力よりも優位になる。一方で、和紙の原料となるコウゾなどは、非木材繊維の靱皮繊維で繊維が長く荒いため、繊維同士の機械的な

表1 紙の主な歴史

年代	内容
B.C.179～142年頃	現存最古と紙とされる放馬灘紙(ほうばたんし)が中国で見つかる
飛鳥時代	百濟より仏教理論が伝来し、奈良周辺で本格的な製紙利用がはじまり、日本書紀にて初めての文書化がなされる
奈良・平安時代	越前和紙、美濃和紙など、年代・産地が特定できる最古の和紙の製造がはじまる
平安時代	紙の装飾加工がはじまり、唐紙・装飾紙などが普及
鎌倉時代	古紙をふきかえした宿紙が拭かれ、全国的に製紙が普及、障子や襖に紙が多用される
明治時代	洋紙が国産化し、以後、和紙よりも製造量が多くなる、機械式抄き和紙の製造がはじまる
現代	ユネスコにおいて2014年に「和紙 日本の手漉和紙技術」が無形文化遺産に登録。伝統工芸、文化財、古美術品、建築修復への利用など多様化。

絡み合いによる接着力が、膠着力よりも優位となる。この繊維の長さや太さなどの性質は、紙の製造方法や基礎的な性質ならびに用途に大きく影響を及ぼすものといえよう。

現在、紙による建材は、紙の空隙構造化による軽量化（繊維密度1.6に対して、紙構造のかさ密度は1以下など）をはじめ、紙と繊維の境界面の反射・拡散による調光性、断熱・調湿特性さらには美観性など多様な性質を保持する

表2 紙繊維の特性

繊維の種類		例	繊維長 (mm)	繊維幅 (μm)
木材繊維	広葉樹	上質紙	0.8~1.8	10~50
	針葉樹	クラフト紙	2.0~4.5	20~70
非木材繊維	靱皮繊維 (コウゾ)	和紙	6.0~20	14~31
	草木繊維 (竹)	クラフト紙等	1.5~4.5	7~27

ことで、内装材を中心とした幅広い展開がなされている。次節において、紙の代表といえる和紙と洋紙に関するその製造と使用方法について紹介する。

## 4 和紙の製造と使用

表3に和紙の製造工程と適用例を示す。和紙は、コウゾ、ガンピ、ミツマタなどを、皮はぎ、煮熟、漂白等の工程を経て靱皮繊維を取り出す。続いて、その繊維を叩解し、繊維の内部から外部までほぐれた状態（外部フィブリル化：フィブリルは小繊維の意）とする。それらを粘液（トロロアオイ等）と混ぜて練漉し、流し漉きをほどよく行なうことで、湿紙が薄くても繊維同士が十分にかみ合った状態となり、最後に乾燥させることで和紙となる。和紙は繊維率が高く、脱水用の加熱処理を加えることがないため、繊維の痛みが少ない耐久性に富む素材となる。

表3 和紙の製造工程と適用例

工程	歩留率	内容
原料採取	100%	楮(コウゾ)、三桠(ミツマタ)、雁皮(ガンピ)などを刈り取る。繰り返し自生させるため、切り口は斜め切りにして処理をする。
皮はぎ(黒皮作り)	15%	採取した枝を鉄釜で蒸し煮し、冷水で皮を収縮させて、木質部から靱皮のみをはがし、天日で十分に乾燥させる。
川さらし	9%	靱皮部の黒皮・甘皮・白皮から、白皮のみをはがすため、川の流水で踏みしごく。白皮には、セルロース、ヘミセルロース、リグニン、バクチンなどが含まれる。
煮熟・乾燥	5.5%	煮熟には草木灰(K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 、Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> のアルカリ含有)を混ぜ、熱湯を加えて弱アルカリ化し、数時間の沸騰後、水で不純物をあく抜きし、漂白をする
漂白	5%	昔は、川さらし、雪さらしにより天然漂白をした。現在は、水洗浄をした後に、さらし粉(CaHCl <sub>2</sub> )で漂白をする。
叩解・ネリ	4.5%	叩くことで、繊維をほぐす。そして、トロロアオイの根(酸性基)により、水に粘性を与えて繊維を均等に分散させる。
紙漉き	—	紙漉き船から桁をはさんだ簀で紙を汲み上げ、「湿紙」をつくる。厚さに応じて紙の汲み上げ回数と量を加減する。その加減を「調子」という。
圧搾・乾燥・仕上	—	水を搾り、乾燥させて仕上げる。この段階までに、完成量の1500~2000倍の水が必要となる。近代化した洋紙の場合は20倍程度となる。



採取した楮(コウゾ)の木



皮はぎで得られた靱皮



叩解(こうかい)によるフィブリル化



流漉きによる湿紙の製造



乾燥後の仕上りの例(雲竜)



光をやわらかに透す障子(京都 高円寺・時雨亭)

国産針葉樹（間伐・低品質材）



チップ用木材の集積場



パルプ原料となる木材チップ



木材チップと製造された繊維



様々な洋紙

図1 洋紙の製造工程と適用例

## 5 洋紙の製造と使用

図1に洋紙の製造工程と適用例を示す。洋紙は、18世紀に欧米から伝えられており、広葉樹と針葉樹の丸太をチップ化した木材パルプを中心に、非木材パルプならびに古紙パルプを混ぜて工場生産で製造される。木材パルプは、苛性ソーダ (NaOH) と硫酸ソーダ (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) を高温高压で溶液化して繊維と廃液に分けられ、繊維は原材料となり、廃液となったリグニンは燃料に、廃薬品は分離抽出して再利用されるなど、循環型の製造体系が構築されている。広葉樹の繊維は寸法が短く表面がなめらかなため、ティッシュペーパーなど軟らかい紙を製造するために選択的に利用されている。一方、非木材パルプは、竹や藁の繊維やケナフ等の韌皮繊維などがあり、原料の集積が効率的ではなく、木材パルプよりは一般に高価となるが、製紙における森林伐採抑制の観点からも注目されている。また古紙パルプは、古紙を水に溶解し、薬品を用いて夾雑物・インク等を分離・除去した後に、漂白処理を行ってパルプ原料となる。

これら各種の原料パルプがあるが、最終的には繊維の自己接着力を補うための強度増進剤、にじみを防止するサイズ剤、および薬品による色調整などの処理を施した後、製造設備の溜め漉きと熱脱水の工程を経て、効率を重視した製造がなされている。

## 6 紙材のこれから

現在、世の中は、環境問題全般の解決を目的に、SDGs やカーボンニュートラル化が強く意識された形での環境配慮が求められている。特に、2050年のCO<sub>2</sub>排出量を正味ゼロとするカーボンニュートラル対策には、木材等の有機物を原料とする製紙業における役割は大きい。そもそも、建材に使用される紙も、その原料に木材チップを多く用いてきたことから、森林管理の問題を切り離して考えることは難しい。実際、世界の木材需要における40%は製材・パルプ材利用とされており、国内で使用されているパルプ材の7割程度は、オーストラリア、南アフリカ、アメリカ、

ブラジルなどからの輸入に依存しており、それ以外のパルプ材は、国内材の杉の針葉樹や、間伐材や低品質材が使用されている。現在、最終的な古紙やパルプ等の利用量は、年間3000万ト程度で推移していることから、今後は、樹木特性や生長量などを細かく管理した上で、計画的な植林・伐採による適切に管理された森林を活かした、持続的な木材パルプの需給システムが必要となろう。

また、今盛んになっているデジタル&グリーンを含めた技術・サービスを促すDx・Gxの仕組みは、文化のパロメータであった紙の役割・機能を別のメディア媒体に転換させる特徴を有しており、建材に使用されてきた紙の姿も変容させる可能性を秘めている。紙建材の特性に関しても、和紙のような風合いと耐久性を保持しつつ、化学的吸着性などを保持した機能性を重視したものも増えていることから、これからの紙材による建材開発も、温故知新を大切にしながら環境に配慮した新たな段階に向かう必要性があるといえよう。

### 参考文献

野口貴文ほか，ベーシック建築材料，彰国社，2010



### profile

**田村雅紀**

工学院大学 教授

1973年岐阜県生まれ  
専門分野：建築材料学  
主要著書：「ベーシック建築材料」  
「ものづくりからみた建築の仕組み」

## 竹材編

工学院大学 教授 田村雅紀

### 1 はじめに

竹材のもつ涼やかさや軽やかさは、土地の風土や景観を表現する植物材料として一定の価値があると思われ、国内外を問わず、古くから建築資材や建具などに幅広く用いられてきた。国内では、12世紀末になると、禅宗とともにもたらされた茶の湯文化が、茶室建築を介して広がり、室町時代になると千利休により「草庵風茶室」と呼ばれる茶室建築が生み出された。質素で静かなものを求めるわび・さび(侘・寂)の心を伝える上で、自然に近い形の建材が多用されることになるが、竹はその中心的な役割を果たしたといえる。一方で、現存する世界最古の木造建築に法隆寺の五重塔があるが、これら古代以後に成立した社寺建築にも竹材は数多く用いられており、真壁内にある荒壁土の固定には竹小舞が、伝統的な檜皮葺きや柿葺きの屋根材への固定には竹釘などが、竹繊維の強さと加工のしやすさを活かした形で建物全般に様々な形で利用されてきた。

### 2 竹材の歴史

表1に竹材の歴史を、図1に竹材の適用例を示す。竹は見た目の様子が示すように、垂直方向の繊維強度が大きく、切削による加工性に優れることから、古くから建築の様々な部位における構造材から下地・仕上げ材までの部位用途に対し、その材料的特性を活かして多様に用いられてきた。例えば、紀元3～7世紀の古墳時代においては、割竹を用いて、それらを格子状に編み合わせることで、建物の外壁や屋根を覆う網代を成立させたといわれる。その後、社寺建築に適用される建具類や、その他部品の要素として使用された後、室町時代以降の数寄屋造においては、前史までの竹の建築材料としての技術・伝承が花開き、構造的・形態的な特性を活かして様々な部位に用いられ、今に残る建築物として伝承されている。

### 3 竹材の性質

竹は、イネ科タケ亜科に属する多年生常緑草本植物で、成長すると木本類のように茎が木質化することが特徴である。国内では数百種類の竹があるとされており、中でも真竹(マダケ)、孟宗竹(モウソウチク)、淡竹(ハチク)がその多くを占める。

図2に竹の維管束とその内部構造を、図3に竹の高さと維管束輻分布の関係を示す。竹は、基本組織である柔細胞

表1 竹材の歴史

年代	内容
古墳時代 3～7世紀	4～5世紀の日本最古である竹製網代が出土している(岐阜県御嵩：顔戸南遺跡)。古墳時代の家形埴輪には、建物の外壁や屋根の覆いなどに網代が表現されている。
飛鳥時代	茅葺きに続き、檜皮葺き、こけら葺きが広く展開し、668年に建立した崇福寺諸堂は、檜皮葺き屋根の日本最古の事例とされ、この檜皮を屋根に止めるために竹釘が使用されていた。
室町時代以降	茶室建築を端緒に、数寄屋造において竹材が多用され、荒壁下地には竹小舞の割竹を用いるようになる。屋根裏の垂木や、窓土壁への竹小舞なども、一般的となる。
現代	建築内外装における自然さを感じさせる意匠を表現する際に用いられることが多い。現在、竹を取扱う人材育成と竹自体の需要不足の問題により、竹林の管理が容易ではなくなっている。



銀閣寺・平成大改修時の柿葺き止め付けに使用した竹釘

京都・高台寺の茶室(傘亭・時雨亭)に多用された竹材

図1 竹材の適用例

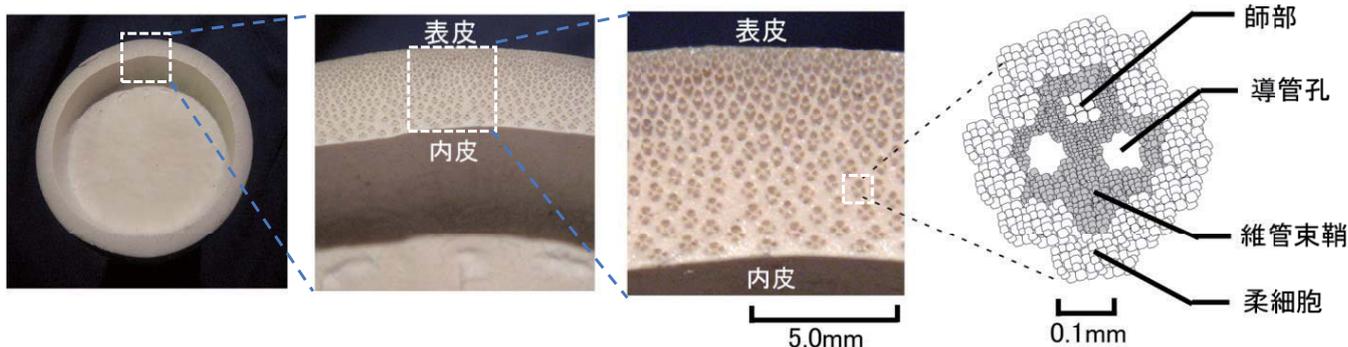


図2 竹の維管束とその内部構造

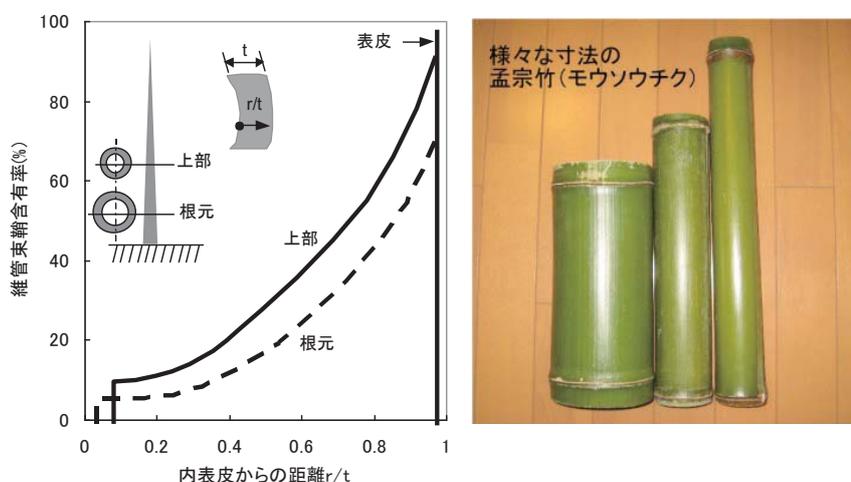


図3 竹の高さと維管束鞘分布の関係(野方文雄、傾斜機能材料研究をもとに作図)



の中に、節部(水溶性の光合成同化産物である栄養を運搬)と導管孔(水と水に溶解したイオンである水分を運搬)からなる維管束が散在している。節部、導管孔を保護するために、維管束鞘が形成され、内皮から外皮に向かう程、維管束は細くなり、その密度は増加する形で、木質化した強固な組織で植物体を機械的に支持する構造となっている。また、竹の高さ方向に対する根元と上部における維管束鞘の密度は、上部に向かうにつれて、表皮側の密度が大きくなる傾向にあり、竹の大変形に耐えうるような強固な構造に変化することがわかる。

なお、竹の組織は、細長い縦方向に伸びた管状の繊維が集まるとともに、維管束鞘も縦方向に並び組織を形成することから、縦方向の引張抵抗力は大きく、かつ弾性的性質にも富むものの、異方性のある材料的性質を有する結果、縦方向には割けやすくなる。そのため、径に応じて一定の間隔ごとに節が形成され、そのような割裂性を防いでいるといえる。

## 4 竹材の施工・使用

図4に竹材とその適用状況を示す。竹材は、青竹をそのまま用いるものや、乾燥により水分除去したもの、煙で燻したもの等、用途に応じて必要な前処理を行った上で適用される。

京都・銀閣寺の庭園内における青竹の手摺り材は、青竹をそのまま用いて、時間とともに退色して、四季折々の変化を感じさせる日本式庭園に馴染む工夫が施されている。河川地域での竹ベンチの例は、地元住民を中心とした竹林整備も兼ねる竹材利用の仕組みとして根付いたものとなっている。中国、台湾、東南アジアでは、高層ビル建設の現場足場用の建設資材として活用している事例がある。竹小舞による荒壁づくりは、伝統的土壁建築の素地に不可欠な材料となっており、数寄屋造の雨樋は竹材で構築し、金属や木材を極力用いずに、意匠の統一感を図る可能性が追求されている。竹を叩いて板状に延べたひしぎ竹の例では、



青竹による外構材(銀閣寺)



孟宗竹のベンチ(木曽国定公園)



竹材による建築足場資材と適用状況(中国・上海)



竹材の建築足場



竹小舞による荒壁(川越)



竹の雨樋

数寄屋建築における竹の雨樋(京都・高台寺)



ひしぎ竹

外壁材の保護資材

図4 竹材とその適用状況

漆喰仕上げ等の外壁仕上げの耐用年数を延ばすための防衛的な役割を担っている。その他、土木構造物に至っては、橋梁などの鉄筋を竹で代替した竹筋コンクリート橋なども残されており、竹材の歴史的な変遷は長く深いことがわかる。

現在、建築において使用される植物資材には、竹材をはじめ、茅材、藁草、紙素材などが存在するが、これらの多くは、内外装材として用いた場合の触感や、色彩的な豊かさ、有機物特有の芳香性など、植物としての自然感や素材感を感じ取らせる利用展開が多いと思われる。将来に向けて、竹を取扱う技術の展開や、その人材育成の課題は山積しており、さらに竹林がある土地環境整備の持続性に関わる課題解決も容易ではない状況であるが、これまでの竹建材の歴史が辿ってきたように、建築の内部から外部における部品から意匠に至るまで幅広く利用されてきた経験の豊かさと技術の洗練さが、将来における新たな利用展開の礎になることを大いに期待したい。

#### 参考文献

- 野口貴文ほか, ベーシック建築材料, 彰国社, 2010
- 社団法人未踏科学技術協会, 機能傾斜材料, 傾斜機能材料研究会編
- 志村史夫, 生物の超技術, 講談社, 1999
- 竹本喜一, 生物をまねた新素材, 講談社, 1995

#### profile

#### 田村雅紀

工学院大学 教授・博士(工学)



1973年岐阜県生まれ  
専門分野: 建築材料学  
主要著書: 「ベーシック建築材料」,  
「ものづくりからみた建築の仕組み」

# 連載 建材への道のり

vol.17

## 最終回：漆喰編、そして建材への道のりは続く

工学院大学 教授 田村雅紀

### 1 はじめに

2024年の新年号となります。そして、この1月の能登半島地震で被災に遭われた皆様に心よりお見舞い申し上げます。この「建材への道のり」は2016年に連載が始まり、今回の第17回で最終回となります。地球の資源が芽となり成長するこの大好きな建材の話題を、多くの読者の皆様とともに少しばかりでも共有できたかと思うと大変有り難い気持ちになります。

さて今回の漆喰（しっくい）は、石灰岩や貝殻などの炭酸カルシウム（ $\text{CaCO}_3$ ）を焼成して得た生石灰（ $\text{CaO}$ ）に、水分を加えて消石灰 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ として用いる材料です。建物の荒壁に中塗りを施し、最後の表面仕上げの段階で漆喰仕上げとする場合は多く、古くから民家の蔵や城郭など様々な建物の外壁を築くための左官材として用いられました。今日まで、建物の意匠に大きく影響を与えつつ、その使用性・耐久性が確保され、伝統性を有する遺産の建造物として残されていく上で重要な役割を果たしてきました。



写真1 なまこ壁（松崎・近藤家）



写真2 鍍絵（伊豆長八美術館）



写真3 本瓦の漆喰目地（姫路城）

表1 漆喰の歴史

年代	内容
BC2500年	エジプト文明、ピラミッドで使用が確認
BC1000年	古代ギリシャ・ローマ時代、アクロポリス神殿、ポンペイ遺跡の内装壁装飾に使用
700年	高松塚古墳壁画など、内部装飾等を漆喰で施工
1400年	イタリアルネッサンス期、フレスコ画として確立
15世紀	戦国期、城郭建築の漆喰工法が確立、防火性と耐久性を確保
16世紀	江戸期、左官職人による鍍絵、漆喰細工が内装に普及・確立
19世紀～	明治期、洋風建築の室内・天井の装飾

### 2 漆喰の歴史

漆喰は、紀元前のエジプト文明において、ピラミッドでも使用されたといわれており、古代ギリシャ・ローマ時代には、世界的に有名なアクロポリス神殿などにも使用された。その用途は建造物に限らず、消石灰に生乾きの状態で無機顔料を加え、気中での炭酸化に従い安定した色彩を放つようになるフレスコ画（イタリア語で「新鮮」の意味）は、ヨーロッパを中心に広まった。国内では、江戸時代になまこ壁や、鍍絵（こてえ）などが登場し、明治時代の洋館建築における室内天井の装飾材料やバルコニーなどの外装材料として受け継がれることとなった。

### 3 漆喰の製造・性質

漆喰の主な原料は、国内で自給可能な鉱物資源といえる石灰岩を使用する。漆喰の種類は、大きく分けて2種類あり、石灰岩を工業的に焼成キルンで生石灰化し、その後水を加えて消化して製造する工業灰と、伝統的な漆喰仕上げ製法として用いる塩焼き灰を用いたものがある。

図1に塩焼き灰の製造フローを示す。地中に掘った土中窯に、石灰岩と石炭を層状に重ね入れ、岩塩を加えた上で時間をかけて焼成した後に、湿気を吸わせて自然に消化させるとともに、藁すさを混ぜて発酵を促し製品となる。一般に、塩焼き灰は塗り性状が優れた漆喰になるといわれる。

漆喰の基礎的性質として、セメント製造と同様に、焼成

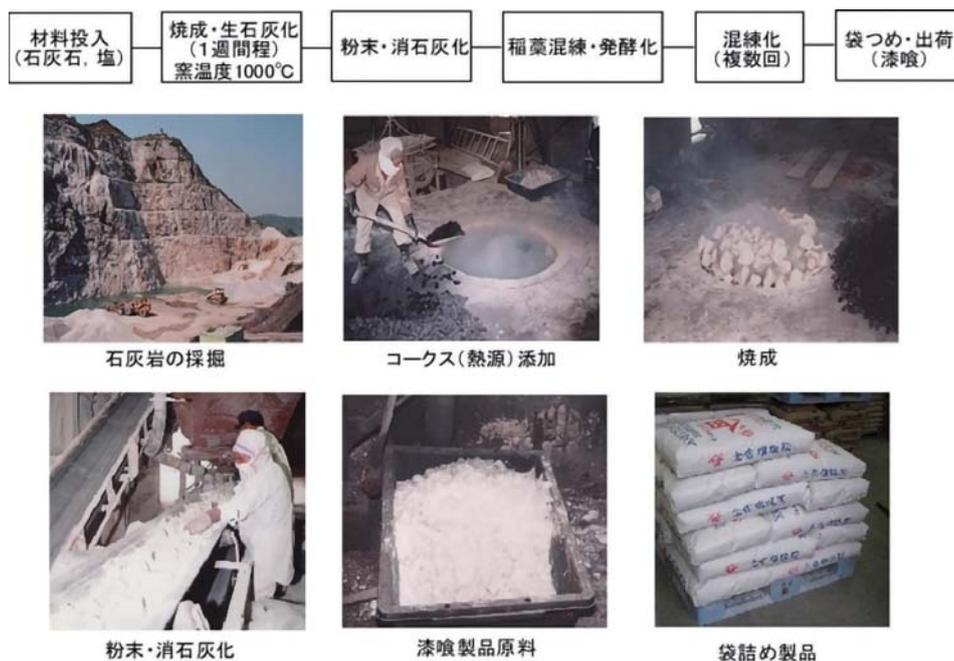


図1 伝統的な塩焼き灰の製造フロー

過程で石灰岩の脱炭酸反応により、二酸化炭素を生じさせながら生石灰する原初的な化学反応に基づく生成法をその基礎としている。従って、水を付与して消化させ、最終的に漆喰仕上げとして建物に使用された後は、徐々に大気中の二酸化炭素を吸収して再び炭酸カルシウムに戻ることになる。漆喰は、仕上げ材として面的に使用されるため、同じく炭酸化するコンクリートと比較すると、単位重量あたりにしめる二酸化炭素を固定する量は格段に大きいといえる。

#### 4 漆喰の施工・使用

表2に漆喰仕上げに用いる糊材と補強材を示す。漆喰は、つのみなどの糊材を煮出したものに、乾燥したすさを混

ぜ合わせ、消石灰と砂を併せて攪拌することで漆喰仕上げ材となり、建物の内外壁・天井に塗りつけられる材料となる。

漆喰仕上材の多くは、生漆喰をそのまま用いるが、色彩的な意匠性を高める場合、表3に示す各種顔料を混ぜて用いる場合があり、松煙黒漆喰、ベンガラ漆喰、群青漆喰などがある。これらの顔料は、耐アルカリ性の無機質のものを主としており、紫外線や温度変化に対しても著しい変色が生じにくく化学的に安定であるが、発色は鮮明ではない。一方、有機顔料は発色が鮮明で着色力も大きいが発色しやすいため特徴がある。

表4に漆喰仕上げと様々な壁下地の関係を示す。漆喰仕上げなど左官塗りの壁下地に求められる性質として、使用時・地震時において強度・剛性を保つことができたり、有害なひび割れ・不陸・目違いなどが無い左官塗り材の種

表2 漆喰仕上げに用いる糊材と補強材

分類	材料	内容
糊材料	つのみ	春あるいは秋に採取した海藻類であり、根や茎などを除き1年程度乾燥させ、煮出した後の粘性のある液状で不溶解残分が25%以下のものを用いる。主に、土物壁ののり材として用いられる
	銀杏草	
	こなつのみ	のりとして使用できる海藻類を粉末にした物。品質が安定している
	水溶性樹脂	メチルセルロースやポリビニルアルコールの白色粉末で、化成品のため、品質は安定しており、使用量も少量ですむ
補強材料	わらすさ	荒壁用(きりわら): わらを3~9cmに切ったもの 中塗り用(もみすさ): わらを1~2cm程度に切りもみほぐしたもの 上塗り用(みじんすさ): わらを3mm程度にきり、節とり、あく抜きをして用いる
	麻すさ	マニラ麻の繊維であり、強靱で夾雑物がなく、節をよくもみ解いて乾燥したもの
	紙すさ	日本紙・みつまた・こうぞによる繊維
	さらしすさ	すさを漂白し、白くしたもの

類に適した材質で、かつ錆や腐食による塗り層の脆弱化を生じさせないことなどが挙げられる。つまり、伝統的な価値や素材感ならびに美観のみが優先された結果として材料が選定されているわけではない。なお近年は、漆喰に特殊な混和材を含ませることで、機能性をもたせた仕上げ材とするような製品も実用化されており、2020年にはJIS A 6919（内装・上塗用既調合しっくい）として規格化が果たされ、新たな使用展開が期待されるといえる。

表3 色漆喰に用いられる主な顔料

色調	顔料の名称	主な発色成分
赤	ベンガラ、合成酸化鉄	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
橙	合成酸化鉄	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
黄	合成酸化鉄	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、H <sub>2</sub> O
緑	酸化クロム	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
青	フタロシアンブルー	有機顔料
紫	合成酸化鉄	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
黒	カーボンブラック、合成酸化鉄	C、Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> 、Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、FeO
白	酸化チタン	TiO <sub>2</sub>

表4 漆喰仕上げと様々な壁下地の関係

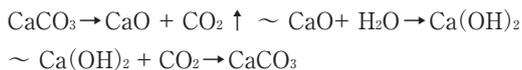
塗り工法	下地	現場打設コンクリート	PC部材	れんが・コンクリートブロック	ALCパネル	金網・ラスシート	石こうラスシート	木毛・木片セメント板	こまい	木ずり	セメントモルタル塗り	せっこうプラスター	こまい土壁塗り
		●	●	●	●	△	×	△	×	●	●	△	●
漆喰仕上げ	内	●	●	●	●	△	×	△	×	●	●	△	●
	外	●	●	●	●	△	△	△	●	●	●	×	●

備考) ●：標準仕様で適応し得る下地 △：特記により適応できる下地 ×：適応できない下地

## 5 漆喰の環境性

漆喰はセメントコンクリートと同様に、国内に数多く賦存する石灰岩CaCO<sub>3</sub>を原料に、高温焼成を伴う下記の化学反応により、脱炭酸化したCaOを得て、これに水を付加することでCa(OH)<sub>2</sub>を主成分とする硬化体として生成される。その後、大気中のCO<sub>2</sub>が再び吸収されれば、最終的にCaCO<sub>3</sub>として元にもどる性質を有している。

なお、国内の石灰岩は、3億年程度の昔にCO<sub>2</sub>が固定化されて岩石となったものであるため、吸収と排出の期間がかけ離れている。そのため、現代の使用期間においては、バージンの石灰岩の燃焼に伴うCO<sub>2</sub>の排出は地球温暖化への負荷となるが、長期に渡り使用し、再生材で完全に循環する仕組みを構築できれば、化学組成に起因した原料ベースでの炭素収支はカーボンニュートラルに向かうといえる。漆喰は、面的な施工を伴うことから、ある意味、短期間で多くのCO<sub>2</sub>の吸収量を見込むことができ、さらに貝灰を原料とした漆喰であれば、海水中のCO<sub>2</sub>を短期間で吸収したブルーカーボンの海洋生物殻を用いることから、ある意味、カーボンニュートラル建材により近い材料的性質を有しているといえる。



## 6 連載を終えるにあたり ～建材への道のりは続く～

今回、漆喰を題材にして建材への道のりを解説することができましたので、関連する炭酸カルシウム系の建材にまつわる話を最後にしたいと思います。

2022年8月に、NHK総合の「チョコちゃんに叱られる！」という番組で、チョコちゃんと建築仕上げの天井模様（トラバーチン模様）についてお話をする機会に恵まれました。同番組は2018年から続いている人気番組で、普段、当たり前と感じていることの中にある疑問を5才のチョコちゃんに解るように伝える内容となっています。ある日、番組の依頼とは知らず、恩師からのあまりに気軽なクイズ形式のような電話1本で相談があったので「それはトラバーチンですかね？」と発した一言で担当が決まってしまったのですが、普段、学生らと建材のことで盛り上がっている話題を、電波を通じて少しでも多くの視聴者に共有することも今後は必要かもと、前向きな姿勢に変わっていきました。

このトラバーチン（Travartine）ですが、石灰岩系の炭酸塩鉱物（CaCO<sub>3</sub>：カルサイト、アラゴナイト等）を主に構成される堆積岩で、点々や縞（しま）模様が残っており、イタリアのローマにある「ティヴォリ（Tivoli）で産出された石」という意味があるようです。ヨーロッパの地殻は日本のような造山運動に伴う大きな変成を受けにくいことから、点々の縞模様は石材のテクスチャーとして残りやすく、コロッセオやテレビの泉など、今も残る有名建物にふんだんに利用されてきました。

さらに、先の起源の話になりますが、先カンブリア紀（地球誕生～5億年前頃）に、原初的な生き物であるシアノバクテリアが、海洋中のCO<sub>2</sub>を吸収・固定しながら水中で繁茂・死滅を繰り返して炭酸塩岩と隣接して蓄積し、その空隙を含んだストロマトライトという岩石（化石）も発見されています。これらがトラバーチンの起源になっているようで、このバクテリア自身は、太古の昔に海洋に蓄積したCO<sub>2</sub>を吸収・固定して、大気中に生命の源である酸素を生じさせる発端になったようです。このように1つの岩石



写真4 トラバーチンと

NHK 総合「チコちゃんに叱られる!」の一コマ (2022.8.26 撮影)

からなる建材の理解でさえも、地球の地殻資源を用いている場合、その素材の太古の起源に関しては、単純に理解されるものではない、複雑なものになっていきます。

しかし、そのような建材でも、今に続く身近な側面も数多くあり、日本近海にもある珊瑚などは、先端のポリプ部で、植物である褐虫藻が光合成を繰り返し、栄養分として石灰を蓄積させて珊瑚礁を残してくれています。実際、国内では、太平洋プレートやフィリピン海プレート上に広く分布したハードコーラル塊を起源とする、列島全土を覆う程の広大な珊瑚起源の石灰岩堆積層が広がっています。これらは海嶺の盛り上がり・海溝の沈み込みの造山運動により、強固なユーラシアプレートにぶつかる際、強大な力で圧密・せん断作用を受けて隆起した「付加体」として今の陸地を形成することに繋がりました。その結果、国内で算出される石炭岩は、トラバーチン特有の縞模様や点々の空隙などは、岩盤圧で崩壊・消失していますが、緻密な石灰岩層として広く分布するに至っています。このように、太古からの普遍的な仕組みを、ひとつの石灰岩、更には漆喰という建材を介して垣間見ることができるのです。

そしてさらに、このトラバーチン模様を活かした建材利用への話になります。国内では1922年に石膏ボードの製造・販売が始まり、第二次大戦後は、安全で燃えない建材開発が急速に進み、岩綿を固化材で圧縮成形し、パネル化した岩綿吸音板が誕生した結果、トラバーチン（灰華石模様）に似たテクスチャーであるとする様子が広く伝えられました。現在は、耐火性以外の吸音性や意匠性のメリット



写真5 自宅のトラバーチンと  
研究室の建材紹介コーナーとインスタグラム

なども示されて用途が拡大していき、トラバーチン風な模様の岩綿吸音板を、石膏平ボードに接着剤で貼り付けたものや、石膏ボードにトラバーチン風な模様を直接施したものなどが中心となり、地震大国である日本独自の軽量×耐火×意匠を踏まえた天井が構築されていったのです。

長い話となりましたが、「建材」は、日常的に生活者の目の触れることから、数多くの研究・開発の上で新たな変化を求めつつ、使い手の安全・安心さらには満足も生み出しながら、建築空間を守り・彩ることが必要と思われれます。換言すれば、人との繋がりの中に、世の中の温故知新を踏まえた建材開発のベースがあり、そこには建物を生み、育む壮大な原動力が備わっていると思えるのです。これからも次代に必要な建材の誕生や生涯を見渡す長い道のりを、関係各位とともに幅広く展開させていきたいと思えます。ありがとうございました。

### 参考文献

- 田村雅紀, 建材への道のり, 第1回~第17回, Vol.52,2016.8 ~ Vol.59,2023.9
- 野口貴文ほか, ベーシック建築材料, 彰国社, 2010
- 工学院大学田村研究室公式インスタ, <https://www.instagram.com/tamukken.lab/>, NHK 総合「チコちゃんに叱られる!」



### profile

**田村雅紀**

工学院大学 教授・博士(工学)

1973年岐阜県生まれ  
名古屋大学卒業  
東京大学大学院修了  
東京都立大学助教を経て現職