

ベーシック建築材料

野口貴文＋今本啓二＋兼松学＋小山明男＋田村雅紀＋馬場英実・著



彰国社

建築家を目指す——それは、建築を学び始めた人の誰もが抱えていることであらう。

しかし、建築物の形態をデザインするだけの建築家であってはいけない。人間が生活を営み、仕事を行う空間を線で描いただけで、設計を終わらせてはいけない。

大量生産・大量消費を美徳とした 20 世紀。その負の遺産に対する反省から、工学が提供すべきものは物質ではなくサービスではないかと、ここ数年間いかけられている。すなわち、物質を生産する工学からサービスを提供する工学へのパラダイムシフトが叫ばれている。

そのようなとき、建築界からは、形態主義や機能主義の時代から素材主義の時代へと移ろうとする兆しを感じとることができるようになってきた。しかし、決して間違えてはならない。素材主義と物質文明とは似て非なるものなのである。実際の建築物をつくるには、建築材料という物質は必要不可欠である。ありきたりの工業製品ではなく、その地で手に入れられる素材に着目し、使い手の意志に沿うべく建築物を構築していこうとする建築家が現れてきた。カタログから建築材料や建築製品を選択する時代から、新たな素材を自らの手で発掘したり、旧来の素材に新しい息吹を吹き込んだりと、従来とは異なる素材の使い方を考え、新たな建築の構築を模索しようとする時代が到来しつつある。建築物を構成している物質は多種多様であるが、われわれが手に取り、目で見て確かめることのできる建築の最小構成単位、それが素材なのである。素材を使いこなし、名建築へと仕上げていくためには、素材の属性・特性を熟知しておく必要がある。時代の潮流にただ翻弄され、基礎知識もなく闇雲に素材の斬新な使い方を追い求めても、満足のいく建築は得られない。

本書は、一から建築を学ぼうとする学生が、建築の素材にこだわり使いこなしていくために知っておいてほしい基本事項について解説した教科書であり、素材のサイエンスから建築のデザインへと発展していくように構成されている。建築材料としての開発・利用の歴史に始まり、素材の属性・特性、建築材料の製造・施工方法および利用方法に至るまでわかりやすく解説がなされており、さらに、特徴的な適用がなされた建築物の紹介がなされている。「ベーシック建築材料」というタイトルを付けてはいるが、決して平易な文章表現に終始しているわけではない。深く読み込み理解してほしい箇所もある。実務者にとっても、建築材料を原点に立ち戻って勉強してみようと思った場合に、役立つ情報が提供されていると思う。

本書が、素材の面白さ・大切さを知るきっかけとなれば、幸いである。

はじめに	3
序 建築材料と何か	6

素材から建築へ

1 スチール 越後松之山「森の学校」キョロロ	13
2 ステンレス 東京カテドラル聖マリア大聖堂	14
3 アルミニウム ウォーカー・アート・センター増築	15
4 チタン ビルバオ・グッゲンハイム美術館	16
5 石 佐川美術館 樂吉左衛門館	17
6 土 マリ共和国ジェンネの泥のモスク	18
7 コンクリート ブレーダー・クラウス・フィールド・チャペル	19
8 セメント系材料 まつもと市民芸術館	20
9 れんが 世界平和記念聖堂	21
10 タイル 武蔵川女子大学 甲子園会館 (旧甲子園小テイル)	22
11 ガラス ウィーン郵便貯金局	23
12 石膏 日本生命日比谷ビル	24
13 木 旧イタリア大使館夏期別荘	25
14 木質材料 牧野富太郎記念館	26
15 和紙とカヤ 高柳町 隣の染家	27
16 プラスチック系 北京国家游泳中心 (水立方)	28

I メタル素材

メタル素材とは	30
1 スチール	31
2 ステンレス	43
3 アルミニウム	47
4 銅・チタン・亜鉛	53
[銅]	53
[チタン]	56
[亜鉛]	57

II セラミック素材

セラミック素材とは	60
5 石	61
6 土	69

7 コンクリート	75
8 セメント系材料	87
[ALC]	87
[繊維強化セメント系パネル]	90
9 れんが・瓦	97
[れんが]	97
[瓦]	100
10 タイル	105
11 ガラス	113
12 石膏・漆喰	121
[石膏]	121
[漆喰]	124

III 高分子素材

高分子素材とは	128
13 木材	129
14 木質材料	141
15 植物材料	149
[カヤ・ワラ]	149
[イグサ]	151
[竹]	154
[紙]	157
16 プラスチック系材料	161
索引	175

COLUMN

金属の変形と応力	42	れんがとモジュール	104
不動態皮膜	46	タイルの落ちるメカニズム	112
環境性能とアルミニウム	52	ガラスはなぜ透明か	120
異なる金属を重ねるとどうなるか	58	カーボン・ニュートラル	126
石と宝石とその色	68	木造と耐火性能	140
土壁は呼吸する	74	木材・木質材料はなぜ水に弱いのか	148
摩天楼の構造材料	86	茶室と自然素材	160
石綿の功と罪	96	化学結合と結晶構造	174

◎写真撮影

畑拓 (彰国社) : p.14, 17, 20, 21, 22, 27, 31, 43, 47, 61, 69, 70, 87, 97, 105, 113, 129, 141, 149, 161
 彰国社写真部 : p.13, 24, 25, 26, 100, 121



写真提供：内藤建築設計事務所（上）

14 木質材料

牧野富太郎記念館

◎大地に伏せる屋根

山の尾根に呼応するように、その屋根はしなやかなカーブを描く。牧野富太郎記念館は高知市郊外の五台山の山頂近くの尾根に建ち、高知県に生まれ、日本植物分類学の父と言われる牧野富太郎の功績を紹介する施設である。

高知は台風の通り道であり、雨は下から吹き上げてくるといわれる。その大きな風圧力と五台山の景観に配慮し、大地に伏せたような屋根形状が導かれた。また高知は全国有数の林業県で、木造が求められたことから、外部デッキのヒノキ、野地板や内部の壁や天井のスギは県産材とし、さらに屋根架構に集成材を採用することで、その要望に込えている。

鋼管の柱で支持した2本の鋼管を棟梁と内周の桁梁とし、それらに外周のRC壁を加えた3列の支持構造の間に、大断面集成材を掛け渡している。複雑な形状ゆえ、部材の加工と施工には高い精度が求められた。日照時間の長い高知の材は目が広く、耐力が出ないため、集成材にはベイマツが用いられている。

■建築概要

作品名：牧野富太郎記念館、設計者：内藤建築設計事務所、竣工年：1999、所在地：高知県高知市五台山4200-6（高知県立牧野植物園内）、主要用途：博物館



15 和紙とカヤ

高柳町 陽の楽家

◎やわらかく隔てられた内と外

和紙とカヤでくるまれた、植物のやわらかさをもつ建築である。高柳町陽の楽家は古いカヤ葺きが残る集落に建ち、カヤ葺きの交流施設である。ガラス戸のない時代、障子に張られた和紙は内外の境界であったことに注目し、壁や建具、床や柱を和紙で包みこんでいる。和紙を守るため庇を深くし、落とし板と呼ばれる建具を外側に立て、冬の豪雪に対処した。夜、温かく光る姿は行灯のようである。

こんにやくと柿渋を塗ることで撥水性を与え、耐久性を高めた和紙は、日本酒「久保田」のラベルの和紙でも知られる。地元の手漉き和紙職人の小林康生氏によるものである。繊維の長さが異なる中国やタイからの輸入品が最近増える一方で、日本のコウゾがもつ質感にこだわり、自ら庭で育てたコウゾを原料としている。和紙の建具を開け放つと縁側の先はすぐ水田である。やわらかく弱い和紙を自然という外部に直接ぶつけることで、自然に対する身体感覚が研ぎ澄まされるような空間が生まれた。



■建築概要

作品名：高柳町 陽の楽家、設計者：隈研吾建築都市設計事務所、竣工年：2000、所在地：新潟県柏崎市高柳町荻ノ島、主要用途：集会施設



セラミック素材とは

セラミックスの語源は、インド・ヨーロッパ語族の中でも最も古い言語の歴史をもつギリシャ語の「keramos」に由来し、「粘土を焼き固めたもの」を意味する。

本章では、粘土を構成する非金属無機材料を、素材の全体もしくは一部に含んだものを「セラミック素材」とし、石、土、コンクリート、セメント系材料、れんが、瓦、タイル、ガラス、石膏および漆喰に分類したうえで、建築材料としての特性と建築物への使われ方を学ぶ。

セラミック素材全般に共通する特性として、地球の地殻・表層材料である岩石や粘土を多く用いるため、ある共通する物理化学的特性をもつようになる。具体的には、金属素材よりも軽い、プラスチックよりは重くなること、常温では固体であり、硬度・強度は高いが、破壊が内部の局所的な欠陥に左右され、脆性破壊しやすいこと、その他、耐熱性に優れるが、熱による衝撃破壊を起こしやすいことなどが挙げられる。

現在、セラミック素材を用いた建築材料は内外装材料に非常に幅広く普及しており、耐久性・安全性さらには美観についても配慮がなされるようになってきている。目を他の分野に向けて、電子機械産業、化学工業ほか、さまざまな分野でも数多くのセラミック素材を用いた製品が生み出されている。(田村)



II セラミック素材

5 石

ジンバブエ産の黒御影石
 (「佐川美術館楽吉左衛門館」, 設計:
 楽吉左衛門+竹中工務店, 2007年)

石は、世界各地において、建築のみならず都市の基盤を形成するうえで重要な役割を担ってきた。街を歩けば、石の建材を見かけないことはないほどである。

地域によって違いはあるものの、1900年ごろまでは建築の歴史といえば、石材の歴史であり、構造材料、仕上げ材料ならびに床材料など数多くの部位に使用されてきた。近年は、建築における工業化生産の流れの中で、構造材料としてではなく内外装仕上げ材料を中心に用いられている。

石材は色彩さらにはテクスチャーなどに配慮して用いられることが望ましい。それは石材によって与えられる建築物の印象が、建築物の意匠的価値、さらには景観的価値にまで影響を及ぼすためである。

1 石材の歴史

石は、旧石器時代における農耕の始まりとともに、住居をはじめとする生活を形成するための材料として多種多様に用いられてきた。その後、文明が発達し、ピラミッドなどの巨大建造物の主要材料として用いられ、建設材料としての確固たる地位を築くことになる(表1, 図1)。

日本では、伝統的木造建築において、掘立て柱から石場建てへ変化を遂げたことは建築構法から見て重要な転機といえる。日本建築学会では1960年に石

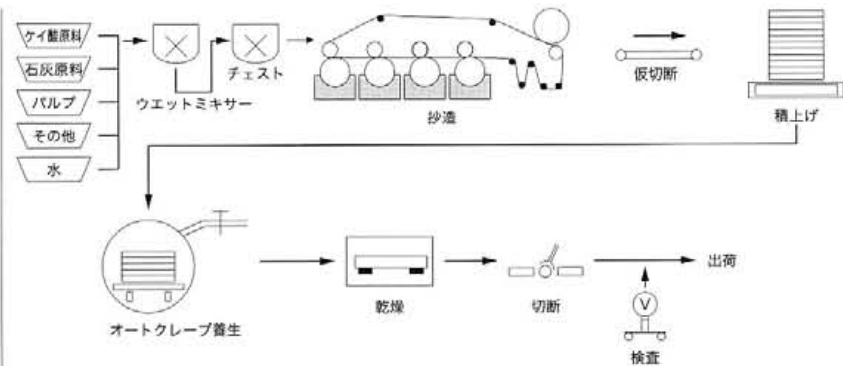


図10 抄造法によるケイ酸カルシウム板の製造

押し出して成形する方法で、中空断面を有する部材や任意の断面形状の部材の製造が可能である。中空断面を有することにより、部材は軽量で断熱性に富むものとなる。押し出し成形法の一例は「タイル」を参考にされたい。ケイ酸カルシウム板、スレート板、窯業系サイディングやGRC板など幅広い板材の製造に用いられる。

2-3 プレス成形法

プレス成形法における型枠流し込み法は、原料スラリーを金型に流し込み、加圧成形する方法である。硬質木片セメント板、窯業系サイディングやケイ酸カルシウム板などの製造に用いられる。一方、ボードプレスで圧縮成形されたケイ酸カルシウム板は、主に鉄骨の耐火被覆材として用いられる。

2-4 ダイレクトスプレー法

GRC板の製造方法として用いられる。セメントあるいはモルタルのスラリーをポンプで圧送し、スプレーガンで型枠面に吹き付けるとともにカッターで所定の長さに切断されたガラス繊維を、噴霧状態のモルタルスラリーと同時に型枠面に吹き付けることによって板を成形する。繊維を多く混入することができるため(表2)、高い強度や大断面を有する板の製造に向く。GRC板の製造では、他にプレミックスマ法がある。これはあらかじめ所定の長さに切断したガラス繊維のチョップドストランドをミキサー内で混合し、型枠の中に流し込むか、この混合物を押し出したりプレスなどで成形するものである。設備が簡便であり、製造工程が単純なため連続生産に向く。



図12 押し出し成形パネル (提供:押出成形セメント板協会)

3 パネルの取付け方

屋根材として波形スレートを用いる場合には大波が使用される。一般的な大波の屋根工法は1山半重ねとする。外壁に使用されるスレート波板は、一般的には小波および波形サイディングであるが、建築物のデザイン上、大波も使用されることがある。波形サイディングは、通常タッピンねじで留め付ける。

GRC板や押し出し成形された窯業系サイディングなどのパネルを躯体に取り付ける際の基本的な考え方は、いかにして*層間変位性能を確保するかにある。

*層間変位 (そうかんへんい)
地震力や風圧力などの水平力を受けて多層構造物が変形する際、ある層の床と直上または直下の層の床との間の水平方向の相対変位をいう。

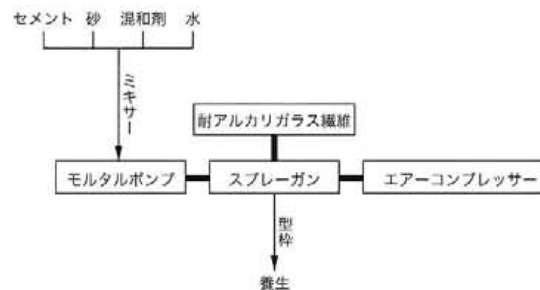


図13 ダイレクトスプレー法

表2 ダイレクトスプレー法

製造方法	耐アルカリガラス繊維含有率 (%)	気乾密度 (g/cm ³)	曲げ強度 (N/mm ²)
スプレー法	5以上8以下	1.8~2.3	20以上
	3以上5未満	1.8~2.3	15以上
プレミックスマ法	2以上4以下	1.8~2.3	10以上
		1.3~1.8	5以上

(GRC工業会資料)

この性能を確保するために、一般にロッキング方式またはスライド方式の取付け方法が採用される。スライド方式は図15に示すように、パネルの上端または下端の2箇所を固定支持とし、その反対の端部をローラー支持として、水平方向に変位できるような取付け金物を使用する。ロッキング方式は図15に示すように、上下端中央1点ピン支持、下端1点ピン支持および下端2点自動支持として、鉛直方向に変形できるような金物を使用して取り付ける。

これらの基本的な考え方はALC板と同様であり、スライド方式は横長のパネルに、ロッキング方式は縦長のパネルの取付けに向く。押し出し成形されたパネルの取付け例を図16に示す。縦張りとして用いる場合は、金物をパネル上下端部に配してロッキングできるように取り付ける。また横張りの場合は金物を左右にスライドできるように取り付ける。

また、抄造法で製造されたケイ酸カルシウム板は*異方性をもつため、その

*異方性 (いほうせい)
物質や材料の性質が方向によって異なること。木材、コンクリートなどはこの性質をもつ。

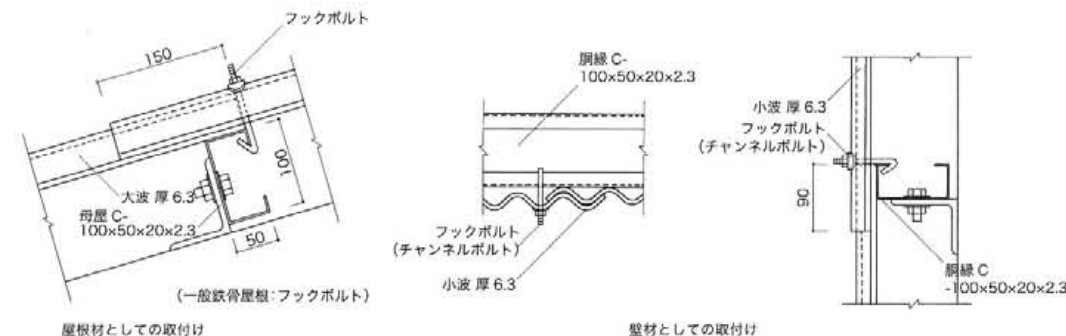


図14 波形スレートの取付け

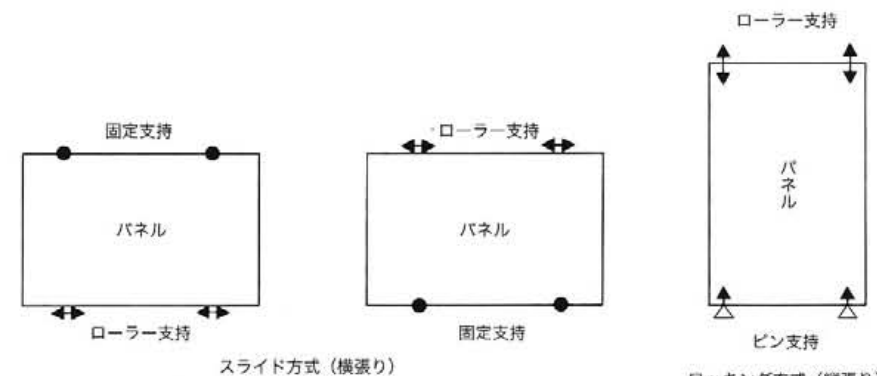


図15 パネル取付け方式

表1 タイルの歴史

年	項目
B.C.3500 年ごろ	エジプト (施釉タイル)
B.C.1000 年ごろ	メソポタミア (装飾材としてのタイル)
6 世紀	イスラム世界 モスク・宗教建築, 施釉タイル・モザイクタイル 磚 (せん: 軒) と呼ばれる陶板 仏教伝来とともに日本にもたらされ、 屋根瓦, 腰瓦, 敷瓦として寺院建築に使われる (岡寺の天文文磚など)
17 世紀	マジョリカタイル 10~15 世紀イスラムからスペインに
1863 年	長崎グラバー邸 イギリスからの輸入タイル
1871 年	大阪造幣寮「泉布観」
1908 年	乾式成形法による硬質陶器質タイルの製造
1922 年	名称統一「タイル」 それまでは敷瓦, 腰瓦, 壁瓦, 張付け化粧煉瓦

形成されていくことになる。

2 タイルの製造方法

外装タイル・床タイル・モザイク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、次に示す工程によって各種のタイルを得ることができる。湿式製法における押し出し成形では、練り土の含水率を20~25%に調整し、この段階で裏足同士が切れ目の入った状態でつながった2枚のタイルが一对で成形され、焼成後にこの一对のタイルを割裂することにより2枚のタイルとなる。一方、乾式製法では粉末原料を含水率7~9%に乾燥させたものを高圧プレスにより成形し、施釉後、本焼成を行う。内装タイルの場合は、原料にろう石を用い、脱水・乾燥後に高圧成形を行い、素地焼成を行ってから、施釉・本焼成を行う。湿式製法は面や形状に柔らかみを、乾式製

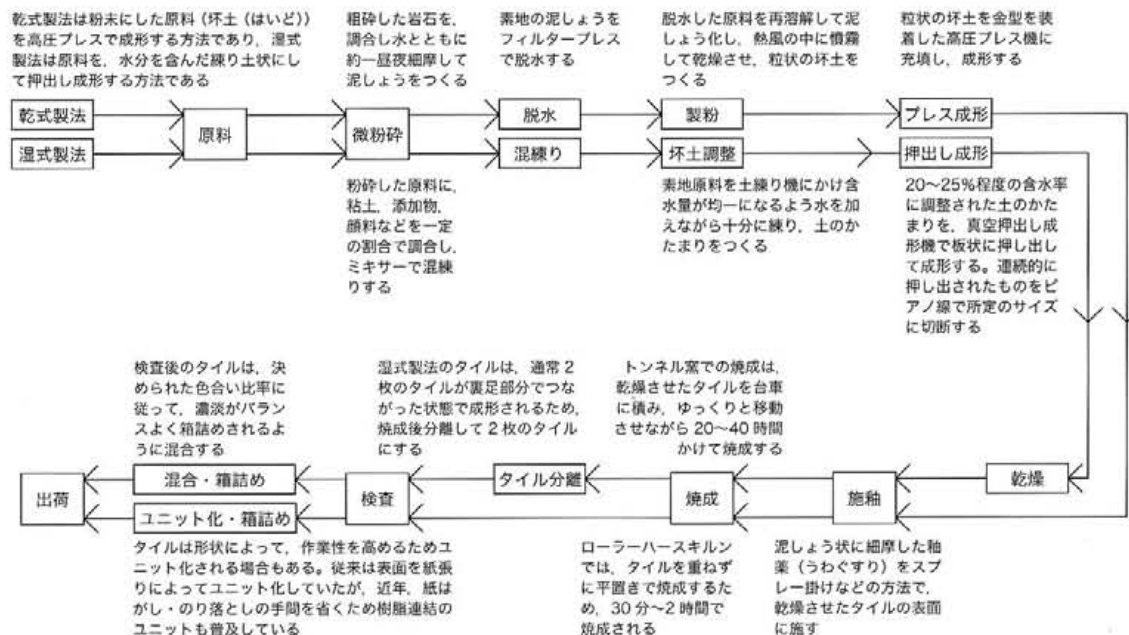


図1 タイルの製造プロセス

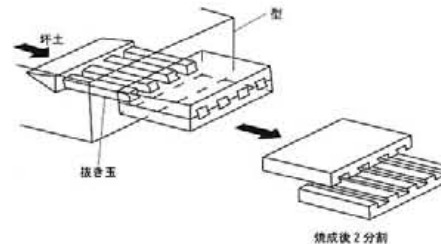


図2 タイルの製造工程

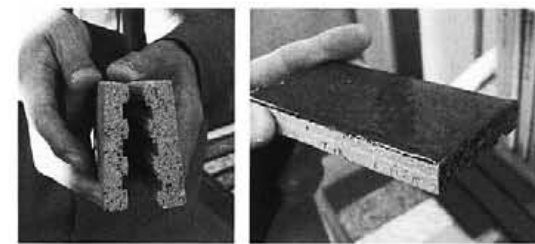


図3 割裂されたタイル(裏足)と釉薬

表2 タイルの分類

	吸水率*	焼成温度	素地の特徴	釉	タイルの種類
I類	3%以下	1,200~1,300℃	緻密で硬い	有・無	外装, 床, モザイク (内装)
II類	10%以下	1,200℃前後	硬い	有・無	外装, 床 (内装)
III類	50%以下	1,000℃以上	多孔質・濁音	無	内装

* ISOに規定される強制吸水率

法は硬さや正確さを感じることができる。なお、施釉とは粘土素地の表面に釉薬(ゆうやく=うわぐすり)を塗布してガラス上の物質を形成するものであり、これにより素地表面からの吸水を防止する。タイルは施釉の有無により、施釉品と無釉品に分類される。なお、本焼成時において窯内に生じる温度ムラによって、同一*ロットのタイルにおいて色ムラが生じる。図1において混合工程が示されているが、色ムラの生じたタイルはこの工程で人手により混合され、これにより仕上げ材としての独特の風合いを醸し出すことができる。

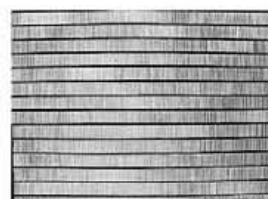
タイルは表2のように吸水率を指標として分類されている。特に、寒冷地などの凍結する恐れのある地域では、吸水率の小さいI類タイルが使用される。II類については耐凍害性を確認してから使用する。

タイルのテクスチャーを操作する方法として、上記の成形方法や釉薬の有無以外に「酸化焼成」、「還元焼成」などの焼成方法がある。酸化焼成とは、酸素を十分に供給した炎で焼き上げるものであり、釉中・素地中の酸化金属と酸素を結合させることで色を付ける。炎は窯全体に広がるとともに台車に積まれているタイル素地をも均一に炎が覆い、比較的安定した色合い・色幅を再現することができる。施釉タイルや広幅の少ないタイルに適している。還元焼成とは酸素の供給を抑制した炎で焼き上げるものであり、釉中・素地中の酸化金属から酸素を還元して色を付ける。タイル素地に当たる炎に偏りが生じ、色幅の大きい仕上がりとなる。本来の焼き物らしい風合いを求める場合に適している。

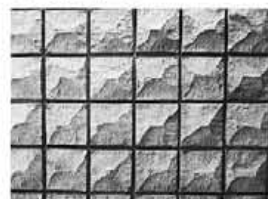
また、生素地表面を突起物で引っかく方法(スクラッチタイル)や、鑿ではつるか金型でプレスすることによってタイル表面に凹凸を付ける方法(テッセラタイル)もテクスチャーの操作手法としてよく採用される。

テラコッタとは本来、イタリア語の「焼いた土」の意味であるが、建築においては装飾用の建築陶器や大型外装タイルを指す。旧帝国ホテル(設計: フランク・ロイド・ライト)や武庫川女子大学甲子園会館(旧甲子園ホテル, 設計: 遠藤新)にも使用されており、機械による加圧成形やせっこう型に流し込むことにより複雑で幾何学的なテクスチャーをつくり出すことが可能となる。

*ロット (lot)
等しい条件下で生産され、もしくは生産されたと思われる品物の集まり。



スクラッチタイル



テッセラタイル



テラコッタタイル (旧帝国ホテルのものを再現)

図4 タイルのテクスチャー

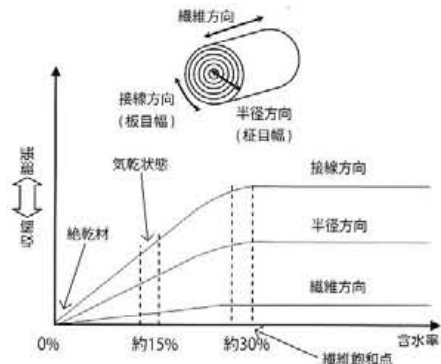


図12 木材の含水率と変形の関係



図15 木口保護の例



図16 背割りの例

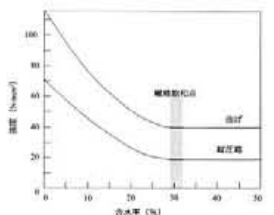


図17 木材の強度と含水率の関係

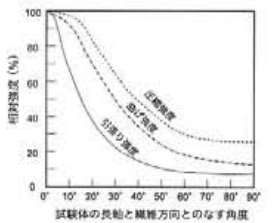


図18 木材の強度と繊維方向の関係

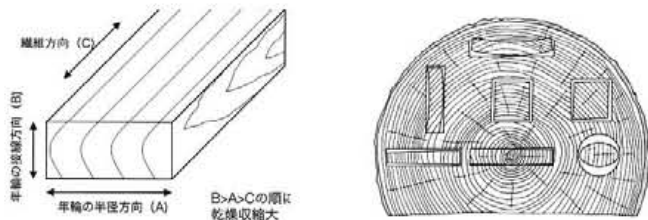


図13 乾燥による収縮の大きさ

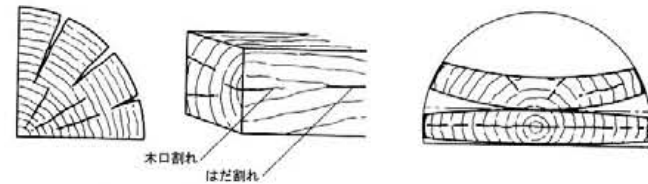


図14 乾燥による干割れや変形の例

が方向によって異なるために、木材には図14のような収縮による干割れや変形が生じる。また、断面の位置や表裏で乾燥収縮の大きさが異なることによって、曲がり・反りやねじれなどのくいを生じる。これは、広葉樹は針葉樹よりも大きい。

図15のように木口を金属板、紙または塗料などでおおうのは、汚染防止や装飾の意味だけでなく、水分蒸発の急激な木口を保護し、干割れを防止するためである。また、柱などでは心持ち材のはだ割れや不整形変形を防ぐために図16のように背割りをする。

4-5 強度

表4は、木材の力学的性質の例を示したものである。強度は、樹種によってだけでなく、心材か辺材か、または繊維方向によっても異なる。また、節、虫食い、目切れなどの欠点がある木材は強度が小さい。含水率と強度の関係は図17のとおりで、含水率が繊維飽和点よりも大きい場合は、ほとんど強度に変化はないが、繊維飽和点よりも小さいと、含水率が小さくなるに従って、強度は増大する。また、図18に示すように繊維方向に対する荷重方向の角度によって強度は異なり、両者が平行のときは直角のときに比べて、引張強度で10倍以上も大きい。

表4 木材の力学的性質の例

(単位: N/mm²)

樹種	密度	強度 [N/mm ²]				曲げ E 103 [N/mm ²]
		圧縮	引張り	曲げ	せん断	
スギ	0.39	40.8	45.6	58.8	5.3	7.5
ヒノキ	0.46	52.8	58.5	82.0	7.3	9.0
アカマツ	0.53	52.6	58.6	75.3	8.4	11.5
ヒバ	0.43	38.8	56.4	61.5	7.3	9.0
ナラ	0.80	46.8	91.9	80.2	8.1	9.5
ケヤキ	0.68	53.7	89.6	89.2	9.9	12.0
シオジ	0.65	52.2	95.3	84.0	8.9	9.5
キリ	0.31	38.0	24.6	59.8	6.2	5.0

4-6 耐久性

(1) 腐朽

木材は、乾湿繰返しによる木質の軟化や菌類の存在によって腐朽する。腐朽の進んだ木材は変色し、質量や強度が減少する。腐朽菌の繁殖程度は、①養分、②湿気、③適度な温度、④空気の状態によって変わり、常に乾燥状態にあったり、完全に水に浸っていると、ほとんど腐らない。図19は腐朽が進んだ木材の例であるが、腐朽は樹種によっても異なる。

木材を乾燥させると、樹液中の養分を凝固または変質させて菌類の発育を防ぐことができる。よって、木材の使用環境下では、風通しをよくして湿分を避けることがよい。

金属板や塗料などによって、木材表面を被覆すると、菌または虫類の侵入を防ぐことに加えて空気や湿気を遮断することができるため、木材の耐久性は向上する。ただし、木材をあらかじめ十分乾燥してから表面被覆材を施さないと、樹液により内部から腐ることもある。

(2) 虫害

木材は昆虫類に食い荒らされて断面が欠損する。昆虫類の中で木材に最も大きな害をもたらすのはシロアリで、わが国に棲む主なものはイエシロアリとヤマトシロアリである。イエシロアリは関東以西の暖地を好み、食害がきわめて大きい。ヤマトシロアリは日本全土に生息するが、食害は比較的緩慢である。針葉樹は、広葉樹よりもシロアリにおかされやすい。また、シロアリの他にも、広葉樹やタケなどを食うヒラタキクイムシやナガシクイムシなどもある。

木材の生物劣化に対する防止対策を表5に示す。虫害を防止するため、一般的には木材に薬剤処理が施される。木質養分を有毒化する防腐剤または防虫剤を木材表面に塗布したり、木材内部に注入したりするなどの処理がある。塗布よりも注入のほうが効果は大きく、床組や壁などで水がかりのある部位には有効である。

(3) 風化

木材は、長期間大気にさらされ風雨や温冷の繰返しを受けると油脂分が発散

表5 木材の生物劣化に対する防止対策

劣化因子	因子の名称	材料的対策	薬剤処理	備考
腐朽菌	マツオウジ等	耐腐朽性のある材種(ヒバ、ヒノキ、クリ、ケヤキなど)、心材の選定	木部表面処理または加圧処理	木部への薬剤処理は高含水状態になる部材を対象とする
	ナミダタケなど		木部処理+土壌処理	床下通風を常時確保することが重要
シロアリ	ヤマトシロアリ	耐蟻性のある樹種(ヒバ、ヒノキ、スギなど)、心材の選定	木部表面処理または加圧処理、一部地域では土壌処理	木部への薬剤処理は高含水状態になる部材を対象とする
	イエシロアリ		床下に土壌処理、木部表面処理または加圧処理	床下の土壌処理が有効
乾材害虫	ヒラタキクイムシ	耐虫性のある樹種(針葉樹)、心材の選定	木部表面処理、拡散処理、加圧処理	部材の取付け前に薬剤処理することが有効