

# 第1章 建築材料概論

## 1.1 概説

建築物は材料の組合せから成り立っており、建築物は「建築材料」なしには成り立たない。建築を設計したり、施工したり、運用したりするには、建築に使用される材料の性質をよく理解し、適切な材料の選択によって建築物がどのように成立するかを理解することが重要である。

かつて、建築に利用される材料は、その地域で生産し供給される素材と品種に限られており、その限られた中から試行錯誤が繰り返されて、十分な性能を発揮できる知恵が蓄えられた。

しかし、現在では建材であっても、産地、加工地、使用場所がいずれも異なる国であることは特別なことではなくなっている。今日、“建築とその構成材料との関係”を見直し、新材料を含むすべての材料に対し、合理的に使用できるよう材料選択の基礎を学ぶことの重要性は非常に高くなっている。このことは、建築材料学が今や知恵・知識を覚えることだけでなく、物理化学的背景を元に、論理的に建築と材料の関係を理解することを要求していることを意味しており、材料の本質を見抜く洞察力は設計者、施工者の他、建築に関わる人々に求められているということを表している。

本章では、建築材料についての一般的性質、多角的視点からの材料の評価などについて記述する。

## 1.2 建築材料を学ぶ目的

建築材料を学ぶことは、無限ともいえる世界中のさまざまな材料を縦横無尽に駆使し、新しい建築への扉を開くことにつながる。新しいというのは意匠であり、計画であり、構造であり、さまざまな形で示すことができるが、いずれも構成するのは建築材料である。また、これからの建築物は、従来にないさまざまな事項が要求されつつある。例えば、**環境負荷**の問題が挙げられ、個人の住宅であっても、それを建設するときに排出されるCO<sub>2</sub>の量は相当に大きくなる。そのため、長く使える住宅を設計することは、**地球環境問題**にとって非常に重要になってきているが、これは計画の問題（家族の人数が変化してもずっと住める）、設備の問題（長期間利用していても、給排水設備が利用できる、あるいは容易にメンテナンスできる）、構造の問題（長い期間に遭遇する地震に耐えられる）、そして

### 用語の解説

#### 環境負荷

本来地産地消であった建築と建築材料の関係であるが、近年、輸送や製造に関わるエネルギーから建築製造時のCO<sub>2</sub>を考慮する流れから、再度、地産地消を見直す傾向にある。

もちろん材料の問題（美観を保持する，構造躯体の耐久性を確保する）が含まれる。

こうした社会のニーズによって，建築の形は変化するが，いずれの場合も材料の問題は密接に関わることになる。建築材料学は，基本的な材料の性質を覚えるだけの学問ではない。材料本来の物性，性能，品質が実際の建物として利用されたときに，それがどのような影響を持ち，建築物の性能にどのように反映され，どれだけの期間それが維持され得るのかといったことを体系的に学び，それを基に材料選定を行うための学問であり，次のようなことを扱う。

#### (a) 材料の基礎的性質

- 1) 材料の物理的，化学的，力学的な基本性質
- 2) 所定の環境下における材料性能の変化，耐用性の評価

#### (b) 材料の適確な選択と利用

- 1) 材料の種別，用途別分類の把握
- 2) 建築への要求性能の把握
- 3) 要求性能に対応した構成部材のもつ性能，建築空間性能の評価

このほか，建築学における構造，環境，計画など異なった分野との関連性（図-1.2.1 参照）を考えると，学会規準，関係法律，法令，規格などに照らして材料の特性を知ること大切になる。

### 1.3 建築材料の分類

建築材料をどのように分類するかは，多種多様な材料を学ぼうえで大切

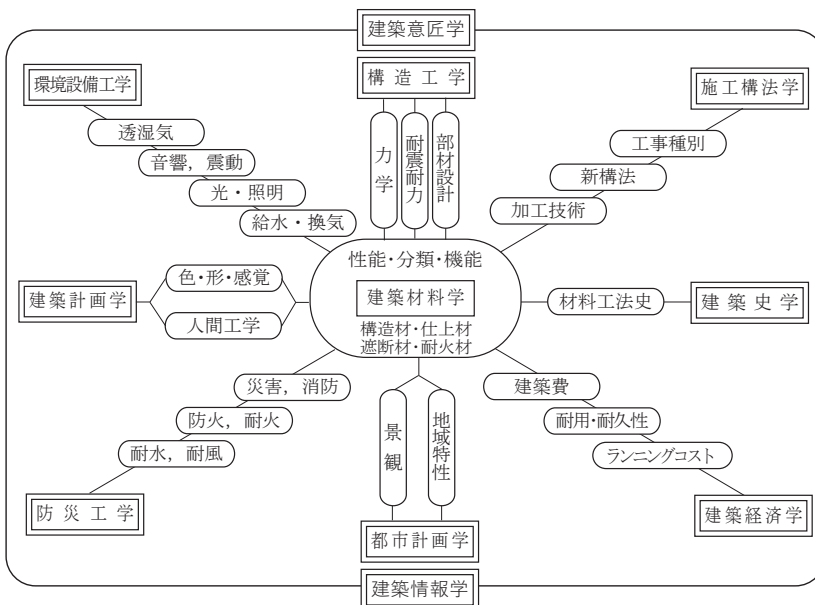


図-1.2.1 建築材料学とその他の建築に関する領域

#### 用語の解説

##### 構造躯体

構造耐力上主要な部分で基礎，基礎ぐい，壁，柱，斜材，床版，屋根版又は横架材など（建築基準法施行令第1条3号に規定）

であるばかりでなく、建築設計、施工管理の立場からも、さらに新しい材料を生産し供給する立場からも重要な基本事項になる。今日までに採用されている建築材料学の分類法としては**素材別分類法**が多かったが、その理由として、これまでは原材料の品質と性能を知り、その有効な利用法を重要視してきたこと、また原材料をあまり加工・処理せずに用いることが多かったことなどが挙げられる。また、**工事区分別分類法**や、**使用部位別分類法**もみられるが、どの部位にどのような材料が使用されているかを知る際にはこれらは有効な分類法になる。

ここでは、従来から採用されている分類法について述べる。

### 1.3.1 素材別分類

素材の種別で分類すると以下に示す通り、無機質系と有機質系に大別することができる。しかし、両系統が混在複合化した材料（例えば、紙と石こうによる石こうボード）なども存在する。

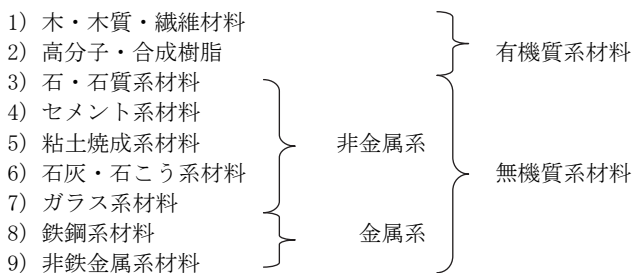


図-1・3・1 素材別分類

### 1.3.2 建築部位別分類および工事区分別分類

工法を理解するうえでは、部位別分類法が有効になる。しかし、部位別分類と工事区分別分類とは、建物の躯体構造により使用材料の種別は大きく異なる。その他に、耐震補強工事、リニューアル工事などがあるが、いずれも多種多様な材料が用いられている。

#### <建物部位別>

- 1) 基礎・地業材料（杭、矢板、擁壁、礎石、地盤改良）…………… 基礎・地業工事
- 2) 構造躯体用材料（鋼、鉄筋コンクリート、木、ブロック、れんが、組石）…………… 躯体工事
- 3) 外装材料（塗装、吹付け、金属、タイル、れんが、石、PCa、ALC、セメント系押出成形品、  
外装用複合パネル、各種外装下地および支持材）…………… 外装工事
- 4) 内装材料（床・壁・天井の表面材、各種内装下地および支持材、インテリア）…………… 内装工事
- 5) 建具用材料（枠・力骨として金属・木材・樹脂、はめ込み材としてガラス・金属板・樹脂系  
透光材・シート・紙類）…………… 建具工事
- 6) 屋根・防水材料（本瓦、スレート瓦、金属板、各種屋根用防水材、天然植物素材）…………… 屋根工事
- 7) 外構用材料（石、木材、コンクリート、ステンレス鋼、ガラス）…………… 外構工事

#### <工事区分別>

PCa  
プレキャストコンクリート

ALC  
軽量気泡コンクリート

- 8) 仮設用材料（鋼材、足場板、養生シート・ネット類、フェンス類、土砂、コンクリート、ベントナイト置換材）…………… 仮設工事

### 1.3.3 性能および機能別分類

建築材料は、それぞれ用途に応じた性能を発揮することによって使用目的を達成する。安全で快適な居住環境の創造に有効な機能とは何かを知ろうと、この分類法は非常に役に立つ。また、材料は必ずしも性能に対して一対一に対応するものではなく、部材や材料の性能も同時に多くのことが要求される。天井一つをとっても、意匠性のほかに、耐久性、地震時における構造安全性などが要求される。

- 1) 構造材料（鉄鋼、木材、コンクリート、コンクリート製品）
- 2) 仕上材料（タイル、れんが、石、金属板、敷物、インテリア材、畳、ボード類、木材・合板類）
- 3) 遮断材料
  - ① 防火・耐火材料（ロックウール、けい酸カルシウム）
  - ② 断熱・保温材料（グラスウール、繊維板）
  - ③ 遮音・防音・吸音材料（ガラス、ボード、金属パネル）
  - ④ 防水・防湿材料（アスファルト、シーリング）
  - ⑤ 防放射線材料（コンクリート、鉛）
- 4) 透過材料
  - ① 採光材料（ガラス、アクリル樹脂）
  - ② 透湿材料（透湿防水シート）

### 1.3.4 生産分野別分類

建築材料に用いられる素材とその加工技術により、需要（使途）に対する供給（生産）方法の改善や資源の有効利用が促進される。新しい建築材料の開発を考える点からも生産分野別分類法は大切である。

- 1) 自然（天然）材料
  - ① 木材
  - ② 竹材
  - ③ 石材
- 2) 鉱工業生産材料
  - ① 鉄鋼系材料（構造用鋼材、接合材、**鑄鋼品**、亜鉛鉄板、普通形鋼、軽量形鋼）
  - ② 非鉄金属系材料（アルミニウム、銅）
  - ③ セラミック系材料（セメント、石こう、タイル、ガラス）
  - ④ 高分子系材料（合成ゴム、プラスチック、塗料、**シーリング材**、防水材）
  - ⑤ 複合系材料（FRP、合板、**集成材**、セメント材）

## 用語の解説

### ベントナイト

微細粘土粒子で、吸水すると膨潤する性質をもつ。地盤安定用材料として用いられる。

### 鑄鋼品

鑄物として用いるために溶かした鋼を所定の形に鑄込み（いこみ）、適当な熱処理をした製品

### シーリング材

接合部・建築物の目地回りを充てんする物質で、形状があらかじめ定まっているガスケットと呼ばれるものと、形状があらかじめ定まっていないゴム状物質、合成樹脂のものがあ、一般的には後者をシーリング材と呼ぶ。

### FRP

Fiber Reinforced Plastics の略称で、ガラス繊維などの繊維をプラスチックの中に入れて強度を向上させた複合材料

### 集成材

断面寸法の小さい木材（板材）を接着剤で再構成して作られる木質材料

- ⑥ リサイクル材料，産業副産物起源材料（高炉スラグ微粉末，再生骨材）

## 1.4 建築材料の性能と性質

### 1.4.1 建築材料の性能

建築材料に求められる性能とは，一般に建築物内外から材料に作用する因子：

- 1) 荷重（地震荷重，風荷重，自重，積雪荷重，積載荷重）
- 2) 水や湿気
- 3) 熱
- 4) 光（日射・人工照明）
- 5) 音や振動
- 6) 空気や放射線

などに対して，i) 遮断，ii) 吸収，iii) 反射，iv) 透過，v) 排出，vi) 抵抗など，作用因子を制御するために材料が発揮する能力を意味する。表-1.4.1に建築材料の主たる性能を項目別に示す。

材料はそれぞれ固有の特性や性質を有している。これをある条件で加工した場合に，機能に対応した性能を持つようになる。機能に対する性能は，一概に大きい方がよい小さい方がよいといった形で単純に評価されるものではない。例えば，施工性能を考えた場合のコンクリートの流動するという機能は，勾配のある場所で施工する場合は，流動性は流れやす過ぎても，流れにく過ぎてもいけない。このように材料の性能は要求性能との間で決定するもので，性能とその評価値はさまざまに存在する。これを視覚的に表したものが図-1.4.1になる。また，ここに利用した性能設計を行うための基本的な用語について表-1.4.2にまとめた。

建築材料を建物に使用する際には，建物の部位により要求される性能が異なるが，その一例を図-1.4.2に示す。このように，建築物の場所，部位，

表-1.4.1 建築材料に要求される性能

性 能	具 体 例
力学的特性	圧縮強度，引張強度，曲げ強度，せん断強度，疲労強度，弾性係数，硬度，靱性，クリープなど
耐久性	耐候性，耐腐食性，耐薬品性，耐凍結・融解性など
耐水・防水・防湿性	吸水率，透水率，吸湿率，透湿率など
防火・耐火性	引火点，軟化点，燃焼性，高温時の力学特性など
熱的特性	比熱，熱伝導率，熱貫流率，熱膨張率など
光学的特性・色彩	光線反射率，光線透過率，光沢度，色彩の自由度など
音響的特性	吸音率，音の透過率，反射率など
感覚的性能 (テクスチャー)	触感，視覚的感覚，肌合など
その他の性能	加工性，施工性，寸法・重量などの均質性，経済性など

## 用語の解説

### 高炉スラグ微粉末

製鉄所の高炉より副生される高炉水砕スラグを微粉碎した水硬性の混和材

表-1・4・2 性能に関わる用語の意味

性能	：定量的に表現した材料を使用したときの挙動
要求性能	：要求機能の定量的表現
作用評価	：材料や部材の性能を要求性能と比較し，評価すること
機能	：ある目的を達するための働きや役割

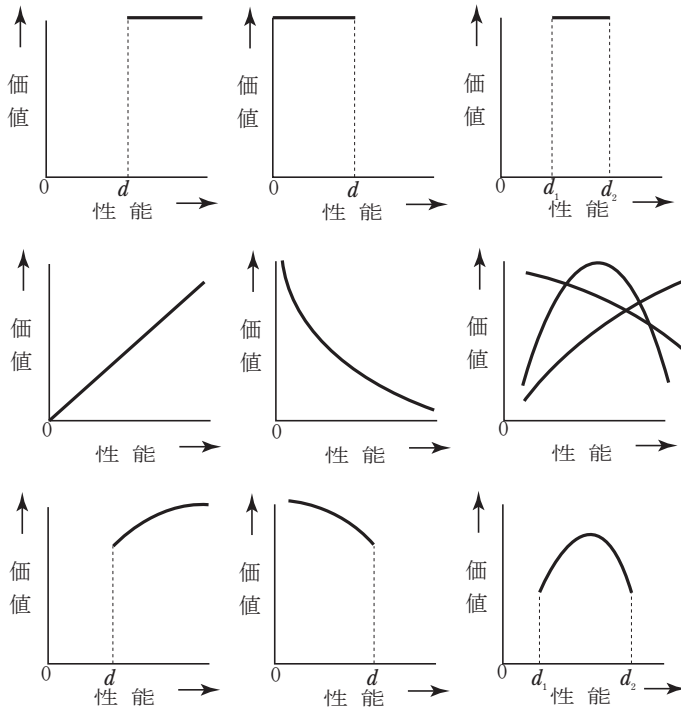


図-1・4・1 性能値と価値の関係 (建築材料設計研究会)

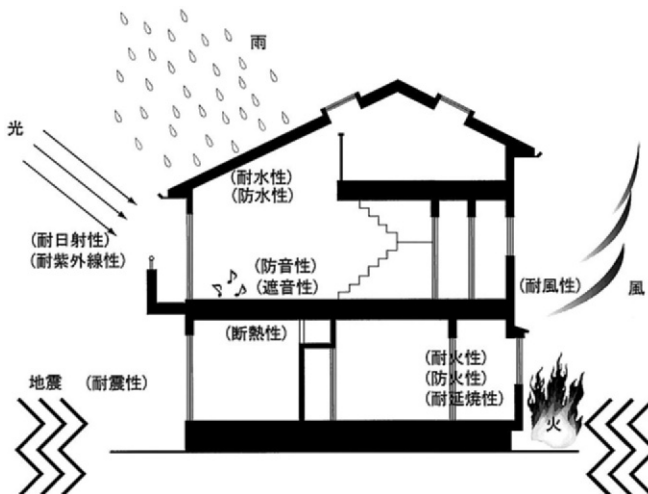


図-1・4・2 家に求められるさまざまな性能

外部環境、作用因子によってさまざまな要求があるとともに、各部位や材料は同時にいくつかの性能を保有する必要がある。

また、近年は住宅が保有する性能を表示することが「**住宅の品質確保の促進等に関する法律**」によって可能になった。これは施主が自分の購入しようとしている住宅の性能を、立地や近隣環境、意匠性以外にも評価を行い、費用対効果を見定めることが可能になることを意図したものである。住宅の性能表示が共通ルールの上で行われると、住宅の相互比較が容易になったり、性能に関する紛争においても争点が明確になったり、また**瑕疵（かし）担保責任**も明確になったりする。住宅供給者においても、競争のインセンティブが働いたり、創意工夫の結果を性能値として消費者にアピールできるなどの利点がある。こうした性能にしたがった設計を評価する市場が整った現在、性能設計にしたがった材料選定は非常に重要な役割を果たすようになっている。

材料に求められる性能のうち、力学的特性、耐久性、熱的特性、音響的特性などは、測定した数値から比較的容易にその特性値が求められるが、これらに対し人間の感覚や人間の物に対する作用によって得られる感覚的性能、快適性などは評価することが困難である。

#### 1.4.2 材料の一般的性質

##### (1) 力学的性質（機械的性質）

##### (a) 応力・ひずみ

材料に外力が作用すると、その材料の内部に応力が発生し変形する。このとき単位断面積あたりの応力を**応力度**といい、単位長さあたりの変形量

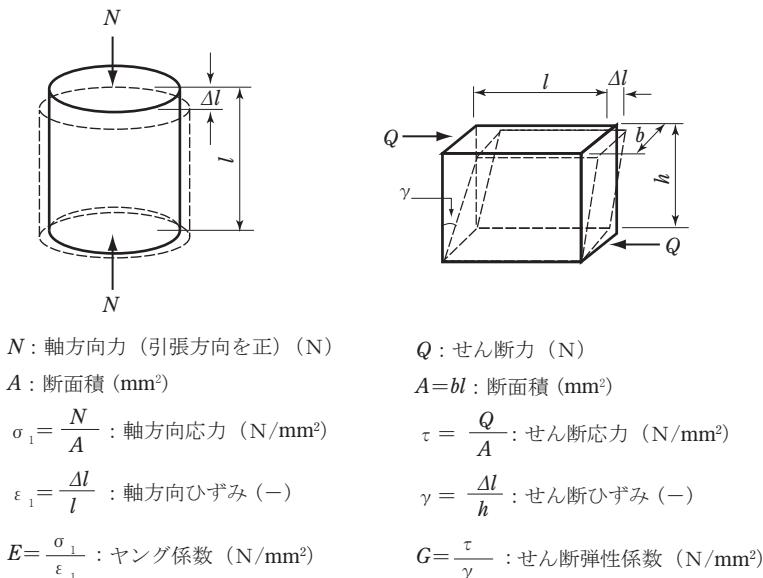


図-1・4・3 応力とひずみ

#### 用語の解説

##### 瑕疵担保責任

売買契約のとき、すでに隠れた瑕疵（欠陥やキズなどのこと）があった場合、売主は買主に対して責任を負うという決まり

##### 応力とひずみの正負

材料力学では一般に引張方向を正、圧縮方向を負とする。ただし、コンクリートを扱う場合は圧縮方向を正で表す場合もある。なお、マトリックス力学解析法のようにグローバルな座標系を利用する場合は、力・変位の方向とも引張・圧縮の状態によらず座標系の方向に一致させて表す。



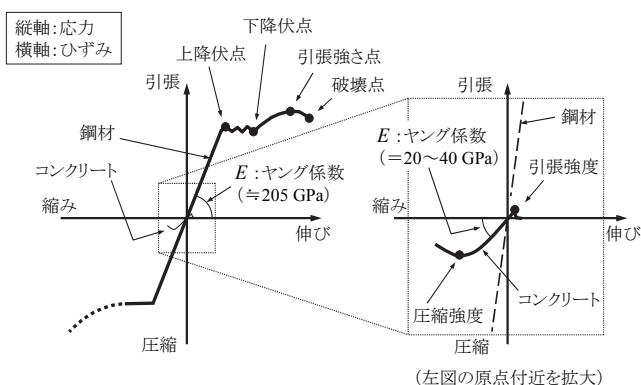


図 1-4-4 鋼とコンクリートの応力-ひずみ曲線

を**ひずみ度**という。応力度とひずみ度は材料学分野では、それぞれ単に応力およびひずみと呼ばれることも多い。

応力は基本的には**垂直応力**と**せん断応力**の2種類に分けられる。これに対応するひずみは、それぞれ**垂直ひずみ**・**せん断ひずみ**と呼ばれる。図-1-4-3 (a) は垂直応力と垂直ひずみの関係を、図-1-4-3 (b) はせん断応力とせん断ひずみの関係を示したものである。単に応力といえば垂直応力のことをいう場合が多い。

#### (b) 応力-ひずみ曲線

応力とひずみの関係をプロットしたものを**応力-ひずみ曲線**という。応力-ひずみ曲線によってその材料の基本力学性質（弾性係数、強度など）や破壊性状（**靱性**、伸び率など）がわかる。例えば、図-1-4-4 は、鋼とコンクリートの応力-ひずみ曲線の概要を示したものであるが、この図から鋼が**延性材料**、コンクリートが**脆性材料**と呼ばれる理由を容易に知ることができよう。

#### (c) 弾性諸定数

変形した材料から外力を取り除くと元の形に戻る性質を**弾性**といい、元の形に戻らない性質を**塑性**という。建築材料の多くは、応力が小さい段階では、ひずみは応力にほぼ比例し弾性を示す。この比例定数は**弾性係数**または**ヤング係数**と呼ばれ、応力-ひずみ曲線の勾配  $E$  として次式のように求められる。

$$E = \sigma_1 / \varepsilon_1 \quad (1.4.1)$$

ここに、 $\sigma_1$ ：荷重方向の応力、 $\varepsilon_1$ ：荷重方向のひずみ

材料に荷重が加わると、図-1-4-3に示したように応力と直角方向にもひずみを生じる。この直角2方向のひずみの比は**ポアソン比**と呼ばれ、次式によって表される。

$$\nu = \varepsilon_2 / \varepsilon_1 \quad (1.4.2)$$

ここに、 $\nu$ ：ポアソン比、 $\varepsilon_1$ ：荷重方向のひずみ、 $\varepsilon_2$ ：荷重と直角方向のひずみ

#### 延性材料

破壊または断裂することなく変形する能力を有する材料

#### 脆性材料

破壊に要するエネルギーが小さく、急激な破壊を示す材料



表 -1・4・3 各種材料の1軸載荷時の強度および変形性質

種類	材 料	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	降 伏 点 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
金 属	RC 用 棒 鋼 (鉄筋) <sup>注</sup>					
	SR 235	390～530	240以上	390～530	210	0.28～0.30
	SD 345	500以上	350～450	500以上	210	0.28～0.30
	P C 鋼 棒					
	1 種	800以上	650以上	800以上	200	0.28～0.30
	2 種	950以上	800以上	950以上	200	0.28～0.30
	構 造 用 鋼 材 <sup>注</sup>					
	SS 400	410～520	230以上	410～520	210	0.28～0.30
	SS 490	500～620	230以上	500～620	210	0.28～0.30
	鋳 鋼	350～700	160～380	350～700	210	0.27～0.30
普 通 コン クリ ート	鋳 鉄	100～400	—	100～400	85～140	0.20～0.29
	ア ル ミ ニ ウ ム	50～100	—	50～100	72	0.34
	呼 び 強 度					
	21	21以上	—	1.8～2.5	22	0.16～0.20
	27	27以上	—	2.2～3.0	26	0.16～0.20
	40	40以上	—	3.0～3.8	29	0.16～0.20
	木 材					
	す ぎ (繊維方向)	25～45	—	50～85	5.5～10	
	ひ の き ( 〃 )	35～50	—	90～160	6.0～12	
	あかまつ ( 〃 )	35～55	—	90～200	8.5～14	
石 材	石 灰 岩	30～200	—	2～20	10～80	0.1～0.3
	砂 岩	20～150	—	2～20	5～90	0.1～0.3
	花 こ う 岩	100～250	—	4～20	20～70	0.1～0.3

注：日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規程・同解説

## (d) 強度

材料内部に発生する応力の最大値を強度（または材料強さ）という。強度は応力の種類によって、**圧縮強度**、**引張強度**、**曲げ強度**、**せん断強度**、**付着強度**などに、また荷重の加え方によって**疲労強度**、**衝撃強度**などに分けられる。これらの強度は、一般の等方性材料ではその材料の値として求めることができるが、木材のように**異方性**を示す材料では、同一材料でも荷重を加える方向によって強度が異なるものもある。

各種の材料の1軸載荷時の強度および弾性諸定数の一覧を表-1・4・3に、また、単位質量（単位体積あたりの質量）、強度、**比強度**の概略値を表-1・4・4に示す。

表 -1・4・4 コンクリート、鉄鋼および木材の比強度の概略値

項 目	コンクリート	鉄 鋼	木 材
単位質量 (t/m <sup>3</sup> )	2.3～2.4	7.85	0.5～0.9
強度 (N/mm <sup>2</sup> )	18～60	240～500	50～120
比強度の概略値	10	40	100

(注) 各材料の強度は、コンクリートが圧縮、鉄鋼が引張、木材が曲げ引張の強度

**疲労強度**

所定の回数の繰返し载荷を行った場合に、材料もしくは部材が破壊する時の変動応力の大きさのこと

**比強度**

強度 / 単位質量、強度質量比ともいう。

## トピック

[ $\mu$ ] コンクリートや鋼材のひずみは、良く [ $\mu$ ] という記号がついて表記されることが多い。ひずみは長さに対する長さ変化量の比であるため、無次元量である。実は、[ $\mu$ ] は $10^{-6}$ という意味であって、数字の桁数を表す記号である。ひずみの単位を明確にする場合には、 $\mu\text{m/m}$ という記載を行う場合もある。

## メモの欄

## (2) 物理的性質

## (a) 密度・単位容積質量

**密度**とは物質の粗密の度合を表す量であり、単位体積あたりの質量として表される。単位は $\text{g/cm}^3$ 、または $\text{kg/m}^3$ がよく利用される。

**単位容積質量**とは単位容積のなかに詰まる粉体または粒体の質量であり、骨材やコンクリートにあつては $\text{kg/m}^3$ などの単位で表される。単位容積質量は同じ材料でも材料の形状・大きさ、試料の詰め方などによって異なる。また、材料の形状にかかわらず単位体積あたりの質量を表す用語として、単位体積質量（略して、単位質量）がある。

## (b) 比熱・熱容量

**比熱**とは、単位質量の物質の温度を $1^\circ\text{C}$  ( $1\text{K}$ ) 上昇させるのに必要な熱量で $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$  で表す。水の比熱は $4.2\times 10^3 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$  である。主な材料の比熱を表-1.4.5に示す。

表-1.4.5 主な建築材料の熱伝導率と比熱（常温）

項目 材料	密度 ( $\text{kg/l}$ )	熱伝導率 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	比 熱 $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
す ぎ（繊維方向）	0.33	0.11	2.1
普通コンクリート	2.3	1.6	0.84
軽量コンクリート	1.6	0.58	1.1
気泡コンクリート	0.5	0.13	1.3
花 こ う 岩	2.7	3.5	0.84
鉄 鋼	7.8	45	0.46
アルミニウム	2.7	220	0.92
ガ ラ ス	2.5	0.79	0.84
水	1.0	0.60	4.2
空 気	0.0013	0.025	1.0

これに対し、ある物体の温度を $1^\circ\text{C}$ 上昇させるのに必要な熱量を**熱容量**という。物体が均一であれば、その熱容量は比熱と質量の積で表される。したがって、単位は $\text{J/K}$ となる。コンクリートは一般に大きな質量で用いられるため熱容量が大きい。

## (c) 熱伝導率

**熱伝導率**は、単位厚さの材料の相対する2面に $1^\circ\text{C}$ の温度差を与えたとき、単位時間に伝わる熱量を表し、単位は $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ である。主な材料の熱

伝導率を表-1.4-5に示す。熱伝導率は、材料の保温性・遮断性などの性能を評価するうえでの重要な値である。

#### (d) 熱膨張率

温度上昇によって材料が膨張する現象を熱膨張といい、このとき、材料の温度変化に対するその体積の増加の割合を**熱膨張率**という。2点間の距離の変化に対する膨張率を**線膨張率**、材料の体積の変化に対する膨張率を**体積膨張率**によって表す。コンクリートと鋼の熱膨張率はほぼ等しく（およそ $1 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ）、このことが鋼とコンクリートを組み合わせたRC構造の安全性と耐久性に寄与している。

#### (e) 引火点・発火点

材料に口火を近づけると引火する最低温度を**引火点**といい、材料を加熱して口火なしで着火する温度を**発火点**という。木材の引火点・発火点は、それぞれ約 $260^{\circ}\text{C}$ ・ $450^{\circ}\text{C}$ である。引火点・発火点は、発熱量や発煙量と並んで材料の防火性能を評価するうえで重要となる。

#### (3) 化学的性質

材料の化学的性質としては、①酸、アルカリ、塩類など化学薬品による**腐食性**、**溶解性**、②材料の化学成分が経時的に反応を生じる**水和反応**、**中和反応**、**分解**、**溶脱**などがある。これらの化学的性質は、いずれも後述する建築材料の耐久性と深い関わり合いがある。また、これ以外にも、近年では、建設時に使用する材料からの健康阻害有機物質の放出、燃焼する建築材料からの有毒ガスの発生、地盤改良材から環境への**六価クロム**の放出、建築材料に用いられる微量放射性物質による化学的影響等々、③建築材料が外部環境に及ぼす化学的影響についても大きな問題となる場合が少なくない。

なお、個々の材料に関する化学的特性については、おのおのの項で触れることとする。

#### (4) 耐久性

耐久性とは、材料が劣化に対抗して、その性質を長期間に渡ってどれだけ維持できるかを示す指標である。材料の耐久性を損なう要因を表-1.4-6に示す。これらの要因による材料の損傷や劣化の程度は、その材料の組成、構造、組織ばかりでなく、環境条件によっても異なるため、それを考慮した設計、材料選定が必要になる。個々の材料に関する耐久性については、おのおのの項で述べることとする。

表-1.4.6 材料とその耐久性を損なう要因

材料の種類	耐久性を損なう主な要因
金属材料	酸化による <b>腐食</b> 、 <b>電食</b> 、繰返し荷重による <b>疲労</b>
セラミック材料	<b>凍結融解作用</b> 、 <b>熱応力</b> 、 <b>乾湿作用</b> 、 <b>疲労</b>
有機材料	腐朽、虫害、溶出、紫外線による劣化、化学的作用
セメント系無機材料	<b>酸化</b> 、 <b>溶出・溶脱</b> 、 <b>凍結融解作用</b> 、 <b>熱応力</b> 、 <b>乾湿作用</b> 、 <b>疲労</b> 、 <b>アルカリシリカ反応</b>

### 用語の解説

#### 溶脱

材料の一部もしくは全部が隣接する水に溶け出すこと

#### 六価クロム

六価クロムは不安定な物質で、有機物と接触するとその有機物を酸化して自身は三価クロムに変わる性質をもつ。この強い酸化を促す力が毒性となる。自然界には通常存在しない。

#### 電食

異種金属が接触した時に、低電位な金属が貴、高電位な金属が卑となり、局部電池を構成して貴側の金属がイオン化し錆びること

#### アルカリシリカ反応

コンクリート中のナトリウム・カリウム等のアルカリ金属イオンが骨材中の特定の鉱物と反応し、膨張性の反応生成物ができる現象。結果としてコンクリートにひび割れが生じ、部材の強度低下、鉄筋の破断、ひび割れによる鉄筋腐食などをもたらす。

## 1.5 建築材料の選択

### 1.5.1 材料選択の現状

近代の工業化が進展する以前は、建築に用いられる材料は供給される地域や生産方式が限られており、用いられる材料は比較的限定されていた。そのため材料の特性、使用方法も経験的に理解され、熟練技術者のみが材料を選定する能力を身につけており、それが一種の伝統として受け継がれてきた経緯がある。しかし、現代では、建築材料の種別が増加し、かつ多種多様化し、その性能も広い範囲に渡っている。また、建築物の種類や立地条件も多様になっており、完成後の建物は常に社会的要求（居住の安全性、隣地・地域の景観からの要求をはじめとする各種商業上、工業上、教育上などの条件）を満たさなければならない。こういった条件の中で、現行の日本における材料選定は、以下のようなものになっている。

- ・実際の建築設計・施工における材料の選定は、建築計画の初期の段階から、設計各分野（意匠、構造、設備）および積算部門の連携により開始され、施主の要求（美観、計画、経済性等）を満足するように議論を重ねて決定される。

- ・各種建築材料のうち、建物の構造形式に関わる主要構造材料、あるいは外観を決定づけることが多い外装材料や屋根材料については比較的早い段階で選択される。内装などは、施主などの要求を踏まえつつ決定され、施工当初に定まっていることは少ない。

- ・材料選択の結果は、個々の設計図、**特記仕様書**、見積書などを含めた「設計図書」によって表現される。

### 1.5.2 設計行為と材料選択

設計行為における材料選定は、先述した構造、意匠、計画、設備、耐久性、安全性、経済性、環境負荷などを考慮して行われる。その中で、材料の使われ方は、部材や部位の一部として成り立つので、必ずしも物性そのもののみに評価されるものではなく、部材としてできあがったときにどうであるかということが重要であり、そういった面では**構法**、**工法**の知識も非常に重要になる。材料性能の足し算がかならずしも部材の性能につながるわけではないので、施工の精度、施工性を設計者が考慮することも重要になる。施工は図面通りに部材を建設することを意図しているが、鉄筋コンクリートの部材であっても、型枠の精度、配筋の精度、打込み作業の善し悪し、コンクリートの善し悪しなどさまざまな要因があり、例えば、配筋の組合せが困難であるために意図した通りに鉄筋の定着がとれなくなるとか、配筋が過密になった部分で打込み時にコンクリートが閉塞するなど、施工を考慮していないために問題が生じることがありえる。**性能設計**とは、本来は施工手続きも含めてどのように建築物を建設するかという仔

#### 特記仕様書

設計業務の実施に関する明細又は特別な事項を定める図書

#### 構法

建物の組み上げ方（架構の仕方）

#### 工法

工事の方法、仕方

細を考慮し、施工図を描くところまでが含まれる。

また、設計の要求性能をどのように解釈するか、ということも重要である。例えば、天井材に吸水によって強度が低下するような材料を用いる場合に、小屋裏を換気して結露を生じさせないようにする空調制御をするだけでなく、万一結露が生じた場合であっても天井材に水分が接触しないような工夫をすとか、強度低下に対して十分な取付け強度を確保をするなど安全性担保の仕組みが必要になる。要求性能をよく精査し、適切な要求性能を建築に課してそれに応えることで、建築物の持つ性能をより伸ばすことは設計者の大事な役割といえる。

## 1.6 建築材料の生産と開発

### 1.6.1 建築生産方式の変化

建築物の生産効率を高め、品質を向上させ、さらに生産コストを低くするために種々の創意、工夫、改善が行われてきた。例えば、その一つが住宅建築の工場生産化（壁式プレキャスト板組立方式、軽量鉄骨系プレハブ住宅など）である。これらの生産方式では生産効率を高める一方、規格化されたために個性に欠ける点も見られた。しかし最近では、間取りの自由さ、ユニット化にも多様性が取り入れられ、敷地の形状、高級志向型内装など居住者の好みに対応できる生産方式が検討されている。

RC構造外壁のプレキャストパネル化、繊維補強セメント板パネル外装材（GRC、鋼繊維補強モルタル）の生産など、この方面における金属系（スチール、ステンレス、アルミニウム）、セラミック系（ALC、けい酸カルシウム板）外装材の生産は増加する傾向にある。

最近では建築生産の向上、工期の短縮、コストの削減などの目的から、建築現場のヤードで柱や梁部材を、時には両者を組み合わせた部材を丸ごと製作し、クレーンで吊り上げて組み立てる工法もみられる。これらの工場製品となる部材は、材料に応じた適切な品質管理が行われるため、非常にすぐれた部材として利用することが可能になる。

### 1.6.2 建築材料の生産と流通

建築材料の流通は、近年までは経済的理由、社会的理由によってさまざまに異なってきた。例えば、木材は1960年から90年代まで、国産材の利用が減少してきたが、近年の環境問題への関心の高まりと新興国による輸入量の増加に伴ない、輸入材の価格と国産木材の値段が均衡し始め、除々にではあるが国産材の利用量が増えつつある。

また、セメントについても、国内需要がバブル時代以降低下しつつあるなかで新興国の利用が増加したため、クリンカの形で輸出を開始する企業も出始めている。このように、世界中の経済活動の枠組みでは、より費用

## 用語の解説

### 壁式プレキャスト板

壁部材の形に成型したプレキャスト板のこと

### 繊維補強セメント板

セメント、石灰質原料、スラグ、せっこうなどを主原料とし、繊維などで補強した材料を用いて成形した板の総称

### GRC

セメントまたはセメントモルタルを耐アルカリガラス繊維で補強したガラス繊維補強セメントのこと

### ALC

Autoclaved Light-weight Concrete の略称、高温高圧多湿養生を意味するオートクレーブ状態で製造管理された軽量気泡コンクリートのこと

### クリンカ

セメントの原料をキルン等で焼成して得られた固まりのこと

対効果がよい場所で材料は生産され、加工され、輸送され、消費されるという形が形成されている。建築材料に関しては国境のない生産・流通の時代になっている。

こういった流れの中に、今後は**低炭素型社会**の構築という観点から、輸送時に排出される二酸化炭素の問題がクローズアップされるつつある。重量物の輸送は、それだけで多くの二酸化炭素排出を生じるので、今後は近隣諸国による材料と国産材料への偏り、**リサイクル材**の活用、部材単位での有効利用などが深く検討されている。

### 1.6.3 建築材料の規格と基準

建築生産の場合においては、経費よりもデザインを優先して材料が選択される場合もあるが、一般には個性的なデザインを損なわない範囲で、工場で生産された安価な製品を効率よく使用するほうが高品質の建物をつくることができる。このような建築生産の異なる場において要求されるさまざまな水準の性能、品質、寸法などを満たす工場製品を安価に、かつ必要に応じて常に準備しておくためには、工場における材料の製造過程においてあらかじめ製品の素材、製品条件、品質、形状、寸法などの規格が全国的に統一され、さらに使用条件、試験方法なども統一されていることが必要になる。わが国でもこのような目的から鋳工業製品に対して明治時代以降、各種の工業規格が定められたが、昭和24年に公布された「工業標準化法」にしたがって日本工業標準調査会が設立され、学協会、業者などから提出された規格原案を検討し、「**日本工業規格**」(Japanese Industrial Standard, 略称JIS) (2019年に「**日本産業規格**」に名称を変更された)としてまとめられた。建築材料に関するわが国の規格には、JISのほかに農林水産省が管轄する「**日本農林規格**」(Japanese Agricultural Standard, 略称JAS)がある。木材および木質製品などはこの規格にしたがっている。また、建築工事の仕様の標準化のために、「**建築工事標準仕様書**」(Japanese Architectural Standard Specification, 略称JASS, 日本建築学会)も作成されている。

諸外国には、古くから著名な権威ある規格類が整備されており、わが国で規格化されていないものについては準用されることも多い。以下に著名な外国の材料規格や標準仕様書を示す。

ASTM Standards (American Society for Testing and Materials)

ANSI (American National Standards Institute)

BS (British Standards)

DIN (Deutsche Industrie Normen)

NF (Norme Francaise)

ACI Standards (American Concrete Institute)

#### リサイクル材

産業副産物や、廃棄・回収された材料を処理し利用した材料のこと



fib (federation internationale du beton)

RILEM (Reunion Internationale des Laboratoires et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions)

近年ではこれらの基準類を包括することを目指して、ISO基準（ISO : International Organization for Standardization, 国際標準化機構）が活発に議論されており、日本でも多くの関連団体がこの規格立案のために活動を行っている。とくに先にも述べたように、材料は開発、生産、加工、利用が世界のさまざまな国で行われるようになっている。こういった共通基準の存在は、その経済性に大きく貢献する。ISO基準を理解していることを前提とすれば、どこの国の工場であっても利用することができるからである。実際には、それ以外にも各国独特の習慣や規格、ルールが存在することで、完全な互換にはいたっていないが、今後の経済効率性を求める動きの中ではその重要性はより高まっていくだろう。

## 第1章 演習問題

1. 建築部位別分類に基づいて、次の部位に使用される材料の名称を列記せよ。
  - 1) 床材
  - 2) 天井材
  - 3) 屋根材
2. 自室（居室）の床、壁、天井、窓などに使用されている材料の名称を記せ。
3. 密度、比重、単位質量の相違を説明せよ。
4. 比熱、熱容量、熱伝導率、熱膨張率の単位を示せ。
5. 荷重、応力、強度、変形、ひずみ、ヤング係数はそれぞれいかなる関係にあるか単位を用いて説明せよ。
6. 建築材料の分類法について、その種別と特色を記せ。
7. 外装タイルに求められる性能とは何か説明せよ。
8. 建築材料の選択には建築物に求められる条件が必要であるが、その項目を示せ。
9. 建築材料の生産または供給のうえでの問題点を考えよ。





## 第2章 構造材料

### 2.1 概 説

建築物に作用する自重、積載荷重、地震荷重、風荷重、積雪荷重などの荷重・外力は、柱、梁、壁、床、基礎、基礎杭などの構造部材によって、安全に地盤に伝えられなければならない。したがって、構造材料に要求されるもっとも重要な機能は、耐荷重性能と変形追従性能である。すなわち、変形を許容される範囲にとどめながら、作用する荷重を安全に地盤に伝える構造の選択と、この構造に適した材料を選択することが要求される。また、構造材料には変質、劣化、老化、腐朽などの自然環境に対する耐久性と、火災などに対する耐火性・耐熱性が要求される。さらにその材料の資源が豊富かどうか、生産・運搬・施工コストが低いかどうかといった経済性や、安全・確実に所定の施工期間内に完成できるかどうかという施工性、地球環境への負荷の大小なども材料選択の際に考慮する必要がある。

本章では、構造部材を構成する材料であるコンクリート、**プレキャストコンクリート製品**、鉄筋、**PC鋼材**、鉄骨構造用鋼材、木材および木質材料などの製法と基本的な性質について記述する。

とくにコンクリートについては、使用材料の選択、調合設計、コンクリートの混練、運搬、打込みなどの製造工程において、とかくミスが発生しやすい材料であること、一旦ミスが発生すると硬化したコンクリートを撤去しなければならないことなど、その製造・施工にはとくに注意を払う必要がある。コンクリートは現在、主要構造材料として多用されているため、本章では、これらの点を考慮して、コンクリートに関する記述を多くした。

### 2.2 コンクリート

#### 2.2.1 コンクリートとは

コンクリートは、セメントと水と骨材を主な構成材料とする複合材料である。これらの構成材料のうち、セメントは水硬性を有し、水を加えると水和反応を起こして凝結・硬化する。骨材はその粒径から細骨材（おおむね直径 5mm 未満のもの）と粗骨材（おおむね直径 5mm 以上のもの）に分けることができる（p. 32 参照）。コンクリートに対して粗骨材を含まないものを**モルタル**といい、骨材をまったく含まないものを**セメントペースト**という。写真-2・2・1 にコンクリートの切断面を、図-2・2・1 にコンクリートの構成材料とその割合の一例を示す。

#### 用語の解説

**プレキャストコンクリート製品**  
工場製作したコンクリート製品

**PC鋼材**  
プレストレストコンクリート用の補強鋼材。通常の鉄筋の3倍程度の強度を有する。

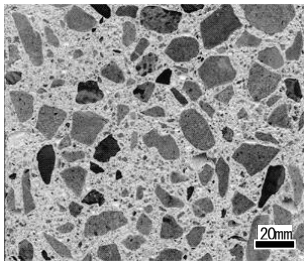


写真-2・2・1 コンクリートの断面

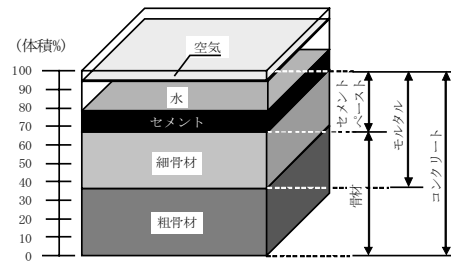


図-2・2・1 コンクリートの構成材料とその割合

表-2・2・1 コンクリートの特徴

長 所	短 所
<ul style="list-style-type: none"> <li>・型枠の形状どおりに自由に成型できる。</li> <li>・柱や梁などの各部材を一体成型できるので、接合部の剛性の確保が容易。</li> <li>・耐久性が高く維持管理が容易。</li> <li>・単位質量あたりの価格が安い。</li> <li>・材料の調達が容易で、ほとんどの地域で生コンクリートの入手が可能。</li> <li>・各材料の構成比（調合）を調節することにより強度などの性能の変更が容易。</li> <li>・耐火性に優れる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・所要の強度性能を得るのに所定の養生期間が必要で、工期が長くなる。</li> <li>・圧縮強度と比較して引張強度が小さいために、構造部材とする場合には鉄筋などによる引張補強が不可欠。</li> <li>・ひび割れが発生しやすい。</li> <li>・化学的な安定性がやや低く、とくに酸に弱い。</li> <li>・一旦構造物を作ると解体および材料のリサイクルが困難。</li> <li>・比強度（強度／比重）が他の構造材料と比べて小さい。</li> </ul>

表-2・2・1 中の用語の解説

**耐久性**

コンクリートの材料としての耐久性は、ひび割れの発生およびすり減り・摩耗などによって所要の性能（強度や遮蔽（しゃへい）性、形状など）を失うことに対する抵抗性を指す。ひび割れの主な原因としては、地震などの外力によるもの以外に、乾燥収縮、アルカリ骨材反応、凍害、および水和熱によるものがある。また、鉄筋コンクリート構造物とした場合には、鉄筋の発錆により、かぶりコンクリートがひび割れることがあり、この場合には、コンクリートの中性化および塩害などもコンクリートの耐久性を決定する要因と考えることができる。

**耐火性**

コンクリートは不燃性でかつ熱伝導率が小さいため、一般にRC構造ではかぶりコンクリートにより高熱が鉄筋および内部のコンクリートに達しない。この点で他の構造形式（鋼構造、木構造）と比較してRC構造は耐火性に優れているといえる。ただし、近年適用例が増えてきた高強度コンクリートは、火災時の爆裂により急激な耐力減少の恐れがあるため、耐火性を向上させる対策が必要となる。

**剛性**

外力に対する変形のしにくさ。同じ外力を受けた場合は、剛性が大きいほうが変形量は小さい。

**施工管理**

建設工事において、各種の作業が滞りなく順調に進行するようマネジメントを行う。建設現場では、個々の職人が行うものではなく、現場監督が行う。

コンクリートは鋼や木などの他の構造材料と比較して、表-2・2・1に示すような多くの特徴を持つが、他の構造材料ともしっかりと大きく異なる点は、一部の工場製品を除き、現場に鉄筋と型枠を配置して、そこへ硬化前の状態のコンクリート（フレッシュコンクリートという）を流し込み、その場

で硬化させて作られる点である。すなわち、構造材料自体を建設現場で作るのである。このことは、部材間の接合部が一体化され**剛性**の高い構造物が得られるというメリットがある反面、建設現場における**施工管理**の重要度が他の構造材料と比べて高く、コンクリートの**材料分離**や未充填部の発生による構造性能の低下、不適切な**養生**による耐久性の低下など、コンクリートに特有な問題が発生するおそれがあることを意味する。

しかし一方で、コンクリートのもつ耐久性や剛性、コストパフォーマンスなどの長所は、コンクリートを建築・土木材料としてなくてはならないものであり、構造形式を問わず（例えば、基礎などにおいて）必ず使用する材料であるため、建設業に関わる者にとって基礎的な知識は不可欠なものとなる。

### 2.2.2 コンクリートの種類

コンクリートは複合材料であるため、密度、骨材の種類、**混和材料**の混入の有無などによって分類される。表-2-2-2に主として JASS 5 に規定されたコンクリートの種類とその概要を示す。コンクリートに要求される性能は、環境や部位によって多種多様であること、また近年は、環境負荷低減、機械化施工（例えば、3Dプリンティングなど）への対応など、その種類は多岐にわたる。

### 2.2.3 コンクリートの構成材料

前述したように、コンクリートは基本的に、セメント、水、骨材、空気、および混和材料からなる。これらを混ぜ合わせて製造されるコンクリートの品質には、各構成材料の品質が大きく影響する。

#### (1) セメント

セメントは、水和反応することにより、コンクリート中の他の構成材料どうしを結合するつなぎの役割を果たす。また、セメントは建設現場のコンクリート以外にも、地盤改良材、産業廃棄物固化処理材、外装仕上材（窯業系サイディング材、スレート瓦など）、建築工事用充填材（グラウト類）など、多くの用途・原材料としても利用されている。

現在では、ピーク時の半分以下まで減少したものの、年間約 4600 万 t が生産（2024 年度）されている。

#### (a) セメントの種類

建築・土木工事に用いられるセメントには、主として表-2-2-3 に示すようなものがある。

##### 1) ポルトランドセメント

ポルトランドセメントは、1824 年にイギリスのれんが職人 Joseph Aspdin が、石灰石と粘土の混合物を高温焼成したものを粉碎してセメントを得たのが始まりとされる。ポルトランドの語源は、このセメント硬

## 用語の解説

### 材料分離

フレッシュコンクリートの状態で、構成材料が密度差により沈降または浮上することにより、コンクリートの均質性が損なわれること。水分が他の材料から分離して上昇する場合（ブリーディング現象）と骨材が沈降する場合に分けられる。

### 養生

コンクリートが所要の強度に達するまで、セメントの水和反応を継続させるために、温度および湿度を管理して、初期材齢のコンクリートを保護すること

### 混和材料

コンクリート中に用いられる材料のうち、セメント、水、骨材以外のもの。品質の改善や新たな性能の付与などさまざまな目的で用いられる。少量のみ用いるものを混和剤、多量に用いるものを混和材と呼ぶ。

### JASS 5

日本建築学会により制定されている建築工事標準仕様書（Japanese Architectural Standard Specification）の第 5 分冊で、鉄筋コンクリート工事に関する仕様書

### サイディング材

乾式で施工される外壁材の総称。とくにセメントと繊維質材料を原料として板状に成型されたものを窯業系（セメント系）サイディング材という。

### スレート瓦

セメント、石綿、繊維および混和材料を混合し加圧成形した板材。最近では有害な石綿を使用しない無石綿スレートが一般的。不燃性、高耐久、軽量などが特長

表 -2- 2- 2 コンクリートの種類とその概要

種類	概要
レディミクストコンクリート	JIS A 5308にしたがって工場で製造されるもの。建築物の構造体に用いられるものは、原則として工場で製造されたものが用いられる。
AEコンクリート	AE剤を用いて空気を連行させたもの
JASS 5における気乾単位容積質量による区分	
普通コンクリート	主として普通骨材を用いた標準的なコンクリート [気乾単位容積質量: 2.1~2.5 t/m <sup>3</sup> ]
軽量コンクリート <sup>*1</sup>	骨材の一部または全部に人工軽量骨材を用い、気乾単位容積質量を普通コンクリートよりも小さくしたもの [気乾単位容積質量: 1.4~1.8 t/m <sup>3</sup> (2種), 1.8~2.1 t/m <sup>3</sup> (1種)]
重量コンクリート	骨材の一部または全部に重量骨材を用い、気乾単位容積質量を普通コンクリートよりも大きくしたもの [気乾単位容積質量: 2.5 t/m <sup>3</sup> 以上]
JASS 5において特別な仕様のコンクリートとして規定されているもの	
＜施工される環境に配慮したもの＞	
寒中コンクリート(工事)	コンクリートの打込み後の養生期間に、コンクリートが凍結するおそれのある時期に施工されるコンクリート(工事)
暑中コンクリート(工事)	気温が高く、スランプの低下や水分の急激な蒸発などのおそれのある時期に施工されるコンクリート(工事)
鋼管充填コンクリート	コンクリート充填鋼管(CFT)構造で鋼管内に充填するために用いられるもの
プレストレストコンクリート	緊張材によって部材の引張側にあらかじめ圧縮応力を生じさせ、曲げひび割れ耐力を向上させた構造・部材に用いられるもの
水中コンクリート	場所打ち杭および連続地中壁など、トレミー管などを用いて安定液または静水中に打ち込まれるもの
＜特別な性能を要求されるもの＞	
高流動コンクリート	フレッシュ時の材料分離抵抗性を損なうことなく、流動性を著しく高めたもの
流動化コンクリート	あらかじめ練り混ぜられたコンクリートに流動化剤を添加し、これを攪拌して流動性を増大させたもの
高強度コンクリート	設計基準強度が48 N/mm <sup>2</sup> 以上のもの
プレキャスト複合コンクリート	構造体または部材の断面の一部にプレキャスト鉄筋コンクリート半製品(ハーフプレキャストRC部材)を用い、これと現場打ちコンクリートを一体化して構造体または部材として形成されたもの
マスコンクリート	部材断面の最小寸法が大きく、かつセメントの水和熱による温度上昇で有害なひび割れが入るおそれがある部材に用いられるもの
水密コンクリート	特に水密性の高いコンクリート
遮蔽用コンクリート	主として生体防護のためにγ線、X線および中性子線を遮蔽する目的で用いられるもの
海水の作用を受けるコンクリート	海水・海水滴または飛来塩分の影響を受けるおそれがある部分に用いられるもの
激しい凍結融解作用を受けるコンクリート	凍結融解作用により凍害を生じるおそれがある部材に用いられるもの
低収縮コンクリート	混和材料の使用および骨材の選定によって、乾燥収縮率を650μ以下にしたもの
＜その他＞	
再生骨材コンクリート	骨材として再生骨材を一部または全部に用いるもの
現場練りコンクリート	工事現場で練り混ぜられるもの
無筋コンクリート	鉄筋で補強されないもの(ひび割れ防止用として鉄筋格子などで補強されたものを含む)
その他のコンクリート	
ポーラスコンクリート	内部に多くの連続空隙をもつもので、透水性舗装や植生基盤などに用いられる。
膨張コンクリート	膨張材を添加したもの。収縮補償用コンクリートとケミカルプレストレストコンクリートがある。
繊維補強コンクリート	鋼繊維、ガラス繊維およびポリプロピレン繊維などをコンクリートの練混ぜ時に混入することで、ひび割れの抑制をはかったもの

\*1 JASS 5において、特別な仕様のコンクリートとしても規定されている。

表-2・2・2 中の用語の解説

**気乾単位容積質量**

気中で乾燥させたコンクリート供試体の質量を、同供試体の体積で除して求めた値。構造計算において、コンクリートの自重を計算する際に必要となる。

**膨張材**

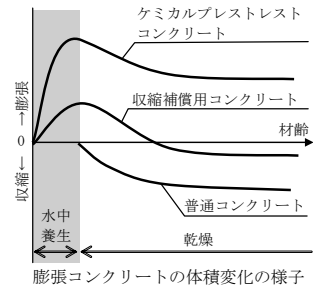
セメントおよび水とともに練り混ぜた際に生成する結晶により、コンクリートを膨張させる作用を有する混和材

**収縮補償用コンクリート**

膨張材と鉄筋の拘束により初期に導入されたプレストレス（圧縮応力）が、乾燥収縮による引張応力を相殺、もしくは低減させる程度の膨張力を有する膨張コンクリート（右図参照）

**ケミカルプレストレスコンクリート**

膨張材と鉄筋の拘束により初期に導入されたプレストレス（圧縮応力）が、コンクリートの乾燥収縮後にも残存する程度の大きな膨張力を有する膨張コンクリート（右図参照）。部材断面内の引張応力を低減する効果があり、部材断面寸法を小さくしたり、ひび割れの防止に効果がある。

**高炉スラグ微粉末**

鉄鉄を製造する高炉から排出される高炉スラグを微粉碎したもの。長期材齢において潜在水硬性（アルカリ刺激により水和物を生成する反応）を発揮し、コンクリートの長期強度の増加、水密性・化学抵抗性の向上などに効果がある。

**フライアッシュ**

石炭火力発電所から排出される石炭灰のうち、排気中に含まれる微粒子を集塵機で捕集したもの。長期材齢においてポゾラン反応（水酸化カルシウムと反応して化合物を生成する反応）が起こり組織が緻密化する。また、流動性の改善、水和熱の減少なども期待できる。

**シリカフェーム**

各種シリコン合金の製造過程で得られる副産物で、超微粒の球形粒子。ポゾラン反応（水酸化カルシウムと反応して化合物を生成する反応）やマイクロフィラー効果（超微粒粒子がセメント粒子の間に充てんして緻密化する効果）が期待でき、超高強度コンクリートなどに用いられる。

**鋼繊維**

細い鋼製の繊維（右図参照）で、コンクリートのひび割れ防止や靱性（じんせい）改善などの効果がある。

**ガラス繊維**

耐アルカリ性ガラスの繊維で、コンクリートのひび割れ防止や靱性改善などの効果がある。

**鉄筋格子**

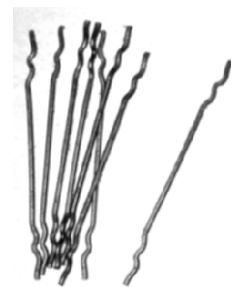
鉄筋を格子状に溶接した工場製品。溶接金網ともいう。

**スランプ**

フレッシュコンクリートのコンシステンシー（変形抵抗性）を示す指標値で、スランプ試験の結果として得られる。高さ 30cm の円錐台形のフレッシュコンクリートが自重により変形したときの中央部の沈下量

**トレミー管**

水中でのコンクリートの打設に用いられる水密な管で、周囲の水分をコンクリート中に巻き込まないように、管の先端部が先に打設されたコンクリート中に埋まった状態で後のコンクリートを打ち込むのが一般的



鋼繊維の例（φ1×45mm）

## 第2章 構造材料

表 -2-2-3 各種セメントの特徴および用途

セメントの種類		特徴	物理・化学的性質 <sup>*1</sup>	用途
ポルトランドセメント (JIS R 5210)	普通ポルトランドセメント	最も一般的なセメント		一般のコンクリート工事
	早強ポルトランドセメント	強度発現が早く、工期の短縮が可能。水和による発熱量が大きい。低温下でも強度を発現	普通ポルトランドセメントより <b>粉末度</b> が大きく、 $C_3S$ を多く、 $C_2S$ を少なくしたもの。普通ポルトランドセメントの7日強さを3日で発現	緊急工事、コンクリート2次製品、冬期工事
	超早強ポルトランドセメント	早強ポルトランドセメントよりも、さらに短期間で強度を発現する。低温下でも強度を発現	早強ポルトランドセメントよりさらに粉末度が大きく、 $C_3S$ を多く、 $C_2S$ を少なくしたもの。普通ポルトランドセメントの7日強さを1日で発現	緊急工事、冬期工事、グラウト
	中庸熱ポルトランドセメント	水和熱が低く、乾燥収縮も小さい。初期強度は小さいが、長期強度は大きい。	普通ポルトランドセメントより $C_3S$ 、 $C_3A$ を少なく、 $C_2S$ を多くしたもの	マスコンクリート、水密コンクリート、遮蔽用コンクリート
	低熱ポルトランドセメント	中庸熱セメントよりもさらに水和熱が低い。初期強度は小さいが、長期強度は大きい。流動性が高い。	中庸熱セメントよりもさらに $C_2S$ を多くし、含有率を40%以上としたもの	マスコンクリート、高流動・高強度コンクリート
	耐硫酸塩ポルトランドセメント	硫酸塩を含有する海水、土壌、地下水、下水などに対する抵抗性が大きい。	普通ポルトランドセメントより $C_3A$ を少なくし、含有量を4%以下としたもの	護岸工事、温泉地付近の工事、化学工場の工事（海外工事への輸出が多い）
	低アルカリ形ポルトランドセメント	<b>アルカリシリカ反応</b> によるひび割れの発生を抑制する。上記6種にそれぞれ低アルカリ形が規定されている。	セメント成分中の全アルカリ量を0.6%以下としたもの（低アルカリ形以外は0.75%以下）	アルカリ骨材反応が起きる可能性がある場合
混合セメント	高炉セメント (JIS R 5211)	<b>高炉スラグ微粉末</b> を混合したセメントで、長期強度の増進が大きく、耐海水性や化学抵抗性に優れる。	高炉スラグの混合量により、A種(5～30%)、B種(30～60%)、C種(60～70%)がある。	普通セメントと同様、ダムや港湾などの大型土木工事
	シリカセメント (JIS R 5212)	天然の <b>ボゾラン</b> を混合したセメントで、耐薬品性に優れるが、初期強度が低い。	シリカ質混合材の混合量により、A種(5～10%)、B種(10～20%)、C種(20～30%)がある。	（最近ではほとんど用いられていない）
	フライアッシュセメント (JIS R 5213)	ボゾランの中でも、特に <b>フライアッシュ</b> を混合したセメントで、長期材齢における緻密化が期待できる。	フライアッシュの混合量により、A種(5～10%)、B種(10～20%)、C種(20～30%)がある。	ダムや港湾などの大型土木工事や水密性を要求される構造物
エコセメント(JIS R 5214)		都市ごみ焼却灰や下水汚泥を主原料としたセメント	$C_3A$ および $C_4AF$ が多く、塩化物イオン量も多い。	無筋コンクリート、一般のコンクリート構造物
その他のセメント	シリカフェウム混合セメント	シリカフェウムを混合したセメント。コンクリートの高強度化および高流動化が可能	用途に応じて、普通、中庸熱、低熱、高ビーライトなどさまざまなセメントをベースに製造される。	超高強度コンクリート、鋼管充填コンクリート
	高ビーライト系セメント	<b>水和熱</b> が低く、初期強度は小さいが、長期強度は大きい。流動性が高い。	$C_3A$ をできるだけ少なくし、 $C_2S$ を主成分としたもの	マスコンクリート、高流動・高強度コンクリート
	超速硬セメント	強度発現が極めて早い。移動が可能な車載型生コン製造設備とセットで供給される。	2～3時間の短期間で10N/mm <sup>2</sup> 以上の圧縮強度を発揮する。	緊急工事
	白色ポルトランドセメント	セメントおよびその硬化体の色が白い。	鉄分の含有量を抑えたもの	表面仕上げ用モルタル、装飾材料
	アルミナセメント	<b>ボーキサイト</b> と石灰石からつくられたセメント。強度発現が極めて早い。	6～12時間で普通ポルトランドセメントの28日強さを発現。化学組成および水和機構はポルトランドセメントと大きく異なる。	緊急工事、耐火工事（長期材齢において強度低下を起こす場合がある）

[注]％：質量％を示す、\*1：化学成分の記号については後述の「(c)セメントの化学的・物理的性質」参照



表-2.2.3 中の用語の解説

**粉末度**

粒子の細かさの程度。粉末度が大きいほど細かく、比表面積（単位質量あたりの表面積）が大きい。

**アルカリシリカ反応**

ある種の骨材がコンクリート中のアルカリと反応して膨張し、コンクリートがひび割れる現象

**高炉スラグ微粉末**

銑鉄を製造する高炉から排出される高炉スラグを微粉碎したもの

**ボゾラン**

ボゾラン反応性（水酸化カルシウムと反応して化合物を生成する反応）を有するシリカ質材料の総称。シリカ質材料とは二酸化ケイ素  $\text{SiO}_2$  を多量に含む材料のこと

**フライアッシュ**

石炭火力発電所から排出される石炭灰のうち、排気中に含まれる微粒子を集塵機で捕集したもの

**水和熱**

セメントが水と反応して水和物を生成する際に発する熱

**ボーキサイト**

アルミニウムの原料となる鋳石。アルミナとはボーキサイト中に多く含まれる酸化アルミニウム ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) の別称

化体の色合いが、イギリスの Portland 島で産出される石灰岩 (Portland stone) によく似ていることから名づけられたといわれている。日本では 1875 年（明治 8 年）にポルトランドセメントの製造が開始された。

今日において、建設材料として単に「セメント」といえば、このポルトランドセメントと考えてよい。現在、JIS R 5210 として定められているポルトランドセメントには、表-2.2.3 に示すように、それぞれ成分調整などにより品質を変化させたものがある。その中でもセメントの全生産量の大部分を占めているのが**普通ポルトランドセメント**であり、わが国で生産されるセメント全体の 60% を占める。

普通ポルトランドセメントと比べて、強度発現を早めたものが早強および超早強ポルトランドセメントであり、**水和熱**が大きいという特性も併せ持つ。早強性のあるセメントを用いることにより、工期の短縮などのメリットが得られるが、部材断面の大きな土木構造物などでは、水和熱が大きいと**温度ひび割れ**などが問題となり、健全な構造物を作ることが困難となる。

これに対して、水和熱を低減する目的で作られたのが中庸熱および低熱ポルトランドセメントである。ただし、これらのセメントでは強度発現が普通ポルトランドセメントと比べて遅くなる。

**2) 混合セメント**

**混合セメント**は、各種の反応性の混合材をポルトランドセメントに混合したもので、混合材としての産業副産物の有効利用およびコンクリートの品質改善を目的としたものである。混合材の混合率により A～C 種に分類される（混合材ごとの具体的な混合率は表-2.2.3 参照）が、実際に使用されているのはいずれの混合セメントにおいても B 種が多い。

**用語の解説****水和熱**

セメントが水と反応して水和物を生成する際に発する熱

**温度ひび割れ**

セメントの水和熱により発生したコンクリート内部の温度分布や温度変化などが原因で発生するひび割れ。コンクリートが高温で膨張し、温度の低下とともに収縮する特性に起因する。水和熱の冷却が困難なマスコンクリートで発生しやすい。

## ① 高炉セメント

混合セメントでもっとも使用されているものが**高炉セメント**で、わが国で生産されるセメント全体の約20%を占める。高炉スラグの持つ**潜在水硬性**により長期的な組織の緻密化、および化学抵抗性の改善などが期待できる。また最近ではセメントを用いた地盤改良工事において、環境への**六価クロム**の放出を抑制できる環境配慮形地盤改良材としての用途も増えつつある。

## ② フライアッシュセメント

フライアッシュを混合した**フライアッシュセメント**も、水和熱の低減や、長期材齢における**ポゾラン反応**による緻密化が期待できるため、**マスコンクリート**などへ適用されている。ただし、フライアッシュの品質変動が大きいこと、混合率が大きいと初期強度が低下すること、またポゾラン反応により水酸化カルシウム ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) が消費されるために**炭酸化**が早まる場合があることなどにより生産量は少なく、生産されるセメント全体の0.3%程度である。

## ③ シリカフェーム混合セメント

JISに規定された混合セメントにおけるシリカセメントとは厳密には異なるものであるが、フライアッシュセメントにつぐ代表的なポゾラン混合セメントとして、シリカフェーム混合セメントがある。建築分野では、**CFT**（鋼管充填コンクリート）構造の充填コンクリートに用いられる超高強度・高流動コンクリートなどに適用されている。

## 3) エコセメント

**エコセメント**は、都市ごみ焼却灰や下水汚泥を主原料（製品1tにつき乾燥ベースで廃棄物を500kg以上使用）とした資源リサイクル型のセメントであり、2002年にJIS化された。原料の都市ごみ焼却灰に由来する塩化物イオン量の多い速硬エコセメントと、そこから塩化物イオン量をセメント質量の0.1%以下まで減少させた普通エコセメントが生産されている。普通エコセメントは普通ポルトランドセメントとほぼ同様な物理的性質を示し、幅広い用途拡大が期待されている。

## (b) ポルトランドセメントの製造方法

**セメントの製造工程**は、「原料工程」「焼成工程」「仕上げ工程」と大きく3つの工程に分けることができる。セメントの製造工程の概要を図-2・2・2に示す。

原料工程では、セメントの主な原料である石灰石、粘土、けい石、酸化鉄原料などを乾燥させた後、所要の構成成分になるように調合し、粉碎・混合して粉末原料を作る。

焼成工程では、粉末原料はプレヒータおよび仮焼炉と呼ばれる原料予熱設備に投入され、予熱昇温された後、**ロータリーキルン**という**回転窯**の中に入り、1,450℃以上という高温で**クリンカ**という塊に焼成される。赤熱

## 用語の解説

## 潜在水硬性

高炉スラグ微粉末などが、コンクリート中の水酸化カルシウム ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) を刺激剤として水和反応を起こし、コンクリートを緻密化する性質

## 六価クロム

発がん性のある毒物。セメント中にも存在（無害な三価クロムがセメント製造時に強熱されることにより六価クロムとなる）し、セメント系地盤改良材などを用いた場合に、環境への溶出が問題となる場合がある。

## ポゾラン反応

フライアッシュなどのシリカ ( $\text{SiO}_2$ ) 質を多く含んだ材料がコンクリート中の水酸化カルシウム ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) と反応して、コンクリートを緻密化する反応。フライアッシュを用いた圧縮強度試験の結果によれば、一般に、長期材齢（材齢28日目以降）において顕在化するとされている。

## マスコンクリート

断面寸法の大きなコンクリートのこと。土木構造物や遮蔽用コンクリート、大型の基礎などに用いられる。水和熱により部材内部が高温となり、温度ひび割れが発生する恐れがあるため、水和熱の管理が重要となる。

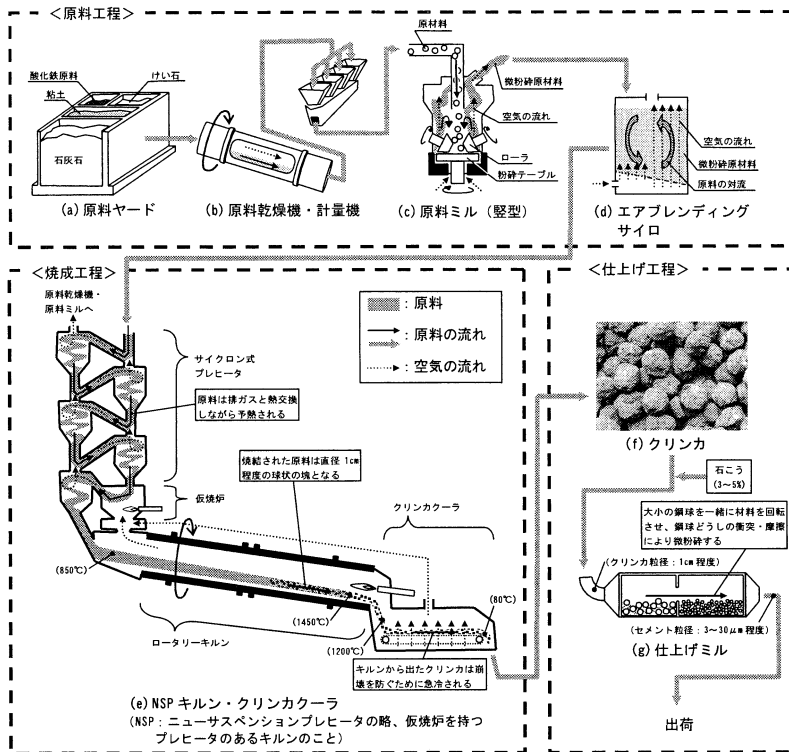


図-2・2-2 ポルトランドセメントの製造方法

したクリンカは、クリンカクーラと呼ばれる装置で、空気と熱交換することによって冷却される。

仕上げ工程では、塊状のクリンカに凝結調整のための石こうを加えて粉碎し、ポルトランドセメントができ上がる。この仕上げ工程において、高炉スラグやフライアッシュを加えることにより、混合セメントが得られる。

現在のセメント工場では、キルンにおいて発生する膨大な熱を、原材料の乾燥や予熱の工程で再利用することにより、エネルギー効率を飛躍的に向上させている。また、燃料である石炭（1970年代のオイルショック以降ほとんどのセメント工場では燃料を重油から石炭に切り替えた）の灰はセメント原料としてそのまま使用し、セメント製造時に発生する粉塵も各種の集塵機により回収され、セメント原料へ戻されているため、二酸化炭素（テクニカルワンポイント p. 26 参照）以外の廃棄物はほとんど発生しない。

### (c) セメントの化学的・物理的性質

#### 1) セメントの化学成分

図-2・2・3に、普通ポルトランドセメントを例に、セメントを1tを作る場合の材料の必要量とその化学組成を簡単に示す。セメントの大部分は、石灰石に含まれていた炭酸カルシウム ( $\text{CaCO}_3$ ) が熱分解により炭酸ガス ( $\text{CO}_2$ ) を放出して得られる酸化カルシウム ( $\text{CaO}$  : 略号 C) で、この他に、酸化けい素 ( $\text{SiO}_2$  : 略号 S), アルミナ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  : 略号 A), 酸化鉄 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  : 略号 F)

### 用語の解説

#### 炭酸化

中性化ともいう。コンクリートがアルカリ性を示す原因である水酸化カルシウム ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) が、空気中の二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) と反応して炭酸カルシウム ( $\text{CaCO}_3$ ) と水 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) を生成し、中性を示すようになる現象。コンクリート表面から徐々に進行するが、鉄筋の位置より深くまで中性化が進むと、鉄筋が錆びて体積膨張し、かぶりコンクリートが剥離するなど、鉄筋コンクリート部材が寿命を迎えることになる。

#### 凝結

練混ぜ後のコンクリート、モルタルおよびセメントペーストが、セメントの水和の進行に伴い流動性を失い固化していく現象。セメントペーストおよびコンクリートでそれぞれ凝結試験がJISで規定されており、いずれも貫入針の貫入抵抗値から凝結の始発および終結の時刻を判定している。

### セメントを取り巻く環境問題

世界規模で地球温暖化問題が深刻化する中、その原因と目される  $\text{CO}_2$  の排出量の削減は社会的な要求となっている。セメント産業から排出される  $\text{CO}_2$  は、日本の総排出量の 4.1% (2023 年度) を占めている。そのうち、製造に必要な熱エネルギー（化石燃料・電力）由来が約 40% を占めている。元々、セメントはその生産段階において多くの熱エネルギーを必要とすることから、廃熱による発電などの省エネ対策に継続して取り組んでおり、さらなる省エネルギー設備の導入によって、省エネルギーを推進している。また、建設現場等から発生する木くずのほか、廃プラスチックや廃タイヤなどの廃棄物を熱エネルギーの代替として活用しており、その使用割合は約 20% (2019 年) にまで増加している。また、セメントの主要成分である  $\text{CaO}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  などを含む、火力発電所の石炭灰、ゴミ焼却灰および下水汚泥などをセメントの代替原料として活用しており、国内で発生する廃棄物のおおよそ 5% を資源化している。

一方で、セメントの主原料である石灰石の熱分解 ( $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ ) によって生じる  $\text{CO}_2$  が約 60% を占めていることから、これを解決するために、二酸化炭素を大気中に放出することなく回収・利用するための研究・技術開発が進められている。例えば、廃棄物などから抽出したカルシウムに、熱分解で生じた二酸化炭素を吸収・固定化し、セメント原料である石灰石の代替として利用したり、骨材として活用したりするための、二酸化炭素の効率的な回収・分離や固定化のための技術開発が進められている。

### メモの欄