

第2章 材 料

2.1 セメント

【基礎知識】

●セメントの種類

種 別		原料・製造方法	特性・用途	
ポルトランドセメント (JIS R 5210) 低アルカリ形ポルトランドセメント含む	普通ポルトランドセメント	石灰石と粘土にけい石・鉄さいを加えて混合、粉砕した原料を焼成してクリンカーをつくり、これに適量のせつこうを加えて粉砕する。	・一般のコンクリート工事で使用。	
	早強ポルトランドセメント		・早期の強度が大きい ・寒中コンクリート、プレストレスコンクリートなどで多く使用	
	超早強ポルトランドセメント		・急速施工用のコンクリートに使用	
	中庸熟ポルトランドセメント		・水和熱量が規定されている。 ・発熱量が小さいことから、マスコンクリートで使用。	
	低熱ポルトランドセメント		・水和熱量が規定されている。 ・ケイ酸二カルシウム $\geq 40\%$ ・発熱量が小さく、化学抵抗性が優れている。	
耐硫酸塩ポルトランドセメント		硫酸塩を含む土、地下水、下水、海水などに接するコンクリートに使用。		
混合セメント	高炉セメント (JIS R 5211)	A種 混合材(高炉スラグ)の分量(重量%) 5を超え 30 以下	クリンカーと高炉スラグに適量のせつこうを加えて混合、粉砕する。	・早期強度はやや小さい、長期強度の増加は大きい。 ・化学抵抗性が大きい。 ・港湾構造物、海岸構造物、下水構造物に使用。
		B種 30を超え 60 以下		
		C種 60を超え 70 以下		
	フライアッシュセメント (JIS R 5213)	A種 混合材(フライアッシュ)の分量(重量%) 5を超え 10 以下	クリンカーとフライアッシュに適量のせつこうを加えて混合、粉砕する。	・早期強度はやや小さい、長期強度の増加は大きい。 ・水理構造物のコンクリートに使用。
		B種 10を超え 20 以下		
		C種 20を超え 30 以下		
	シリカセメント (JIS R 5212)	A種 混合材(シリカ質混合材)の分量(重量%) 5を超え 10 以下	クリンカーとシリカ質混合材に適量のせつこうを加えて混合、粉砕する。	・早期強度はやや小さい。 ・化学抵抗性が大きい。 ・水密性が大きい。 ・工場などの廃水施設のコンクリートに使用。
		B種 10を超え 20 以下		
		C種 20を超え 30 以下		

●全アルカリ (%) の算出

$$\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = \text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$$

ここに、 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ ：ポルトランドセメント中の全アルカリの含有率 (%)

Na_2O ：ポルトランドセメント中の酸化ナトリウムの含有率 (%)

K_2O ：ポルトランドセメント中の酸化カリウムの含有率 (%)

●低アルカリ形ポルトランドセメント

$$\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} \leq 0.6\%$$

●セメントクリンカーの組成化合物とその特性

名 称	分 子 式	略号	特 性		
			水和熱	収 縮	化 学 抵 抗 性
ケイ酸三カルシウム	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S	中	中	中
ケイ酸二カルシウム	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S	小	小	大
アルミン酸三カルシウム	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	大	大	小
鉄アルミン酸四カルシウム	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	小	小	中

セメント豆知識

【粉末度】粉体を構成している粒子の細かさの程度。比表面積などの値によって評価される。

【比表面積】セメント 1g 当たりの全表面積を cm^2/g で表したもの。

【ブリーディング】フレッシュコンクリートおよびフレッシュモルタルにおいて、固体材料の沈降または分離によって、練混ぜ水の一部が遊離して上昇する現象。上昇分の水を集めたものがブリーディング量となる。

【初期強度】凝結硬化過程にあるコンクリートの強度、早期強度ともいう。一般には脱型時期の目安を得る場合などに参考にする材齢 7 日以内の比較的初期材齢における強度を指すことが多い。

【長期強度】コンクリートを製造してから多くの日数が経過した後の強度。コンクリートの強度は、一般に材齢 28 日の強度で表すのが標準になっており、長期強度はこれを超える材齢、すなわち 3 ヶ月、6 ヶ月、1 年あるいはそれ以上の材齢で試験した強度を指すことが多い。

【乾燥収縮量】硬化したコンクリートあるいはモルタルが、乾燥雰囲気下において変形して縮む現象を乾燥収縮といい、その縮んだ量を乾燥収縮量という。

【流動性】フレッシュコンクリート、フレッシュモルタルまたはフレッシュペーストの自重あるいは振動力による変形のしやすさ。

【セメントクリンカー】セメント原料をキルンで焼成した際に得られる塊状の焼成物。大きさは10～50 mm 程度のもが多い。

【組成化合物】酸化カルシウム、二酸化ケイ素、酸化アルミニウム、酸化第二鉄などの化学成分が結合した化合物。

【セメントの物理試験】セメントの密度、粉末度、凝結、圧縮強さ、水和熱試験を指す。

【水和物】常温常圧下で生成する主なものは、ケイ酸カルシウム水和物であり、通常「C-S-H」で表記するものと水酸化カルシウムである。高温高圧下では別の水和物ができる。

【水和反応速度】水と反応して、分子内に水の分子 H_2O を取り込んだ形の反応生成物（水和物）を生成する化学反応を水和反応といい、その反応速度を水和反応速度という。

【水和熱】セメントの水和反応は発熱反応であり、この発熱を水和熱という。

【 C_3S ；ケイ酸三カルシウム】セメントクリンカーの組成化合物の一つ。

【 C_2S ；ケイ酸二カルシウム】セメントクリンカーの組成化合物の一つ。

【 C_3A ；アルミン酸三カルシウム】セメントクリンカーの組成化合物の一つ。

【 C_4AF ；鉄アルミン酸四カルシウム】セメントクリンカーの組成化合物の一つ。

【 MgO ；酸化マグネシウム】セメントの化学成分の一つ。これが多いと膨張し長期の安定性を害するおそれがある。

【酸化ナトリウム】セメントの化学成分の一つ。

【酸化カリウム】セメントの化学成分の一つ。

【強熱減量】セメントを $975 \pm 25^\circ C$ で強熱したときの減量で、新鮮度

の目安となり、風化が進むと大きくなる。

【早強ポルトランドセメント】早期に高い強度が得られるが、長期にわたる強度増進がないセメント。

【中庸熱ポルトランドセメント】水和熱を下げるために C_3S と C_3A を減じ、 C_2S を多くしたセメント。ダムなどマスコンクリートに使用される。初期強度は小さいが、長期強度が大きい。

【低熱ポルトランドセメント】中庸熱ポルトランドセメントよりもさらに C_2S が多く、 C_2S が 40% 以上と規定されたセメント。

【高炉セメント】高炉スラグを混合したセメント。初期強度は小さいが、長期強度は大きい。

【高炉セメント B 種】高炉スラグの混合量が 30% を超え、60% 以下の高炉セメント。

【高炉セメント C 種】高炉スラグの混合量が 60% を超え、70% 以下の高炉セメント。

【フライアッシュセメント】フライアッシュを混合したセメント。

【フライアッシュセメント B 種】フライアッシュの混合量が 10% を超え、20% 以下のフライアッシュセメント

【エコセメント】都市ごみの焼却残渣^{ざんさ}などの廃棄物を主原料とするセメント。

【高炉スラグ】高炉で銑鉄を製造する際に排出されるスラグの総称。急冷スラグと徐冷スラグに分類される。

【圧縮強さ】セメントの結合材としての圧縮性能を表すもの。

【全アルカリ】化学成分の結果から、次式で計算する。

$$Na_2O_{eq} = Na_2O + 0.658 K_2O$$

ここに、 Na_2O_{eq} ：ポルトランドセメント中の全アルカリの含有率（%）

Na_2O ：ポルトランドセメント中の酸化ナトリウムの含有率（%）

K_2O ：ポルトランドセメント中の酸化カリウムの含有率（%）

【耐海水性】海水に対する抵抗性。

【低アルカリ形】セメント中の全アルカリ量を 0.6% 以下に保証したもの。

1. セメントの粉末度

セメントの粉末度を高くした場合のコンクリートの一般的性質

- (1) ブリーディング量が減少する.
- (2) 流動性が低下する.
- (3) 初期強度が増大する.
- (4) 乾燥収縮量が増大する.

2. セメントクリンカーの主要組成化合物およびその水和物の特性

- (1) 水和反応速度は, C_3S より C_2S のほうが遅い.
- (2) 水和熱は, C_3A より C_4AF のほうが小さい.
- (3) 化学抵抗性は, C_2S より C_3A のほうが小さい.
- (4) 収縮は, C_2S より C_3A のほうが大きい.

□ セメントクリンカーの組成化合物

早強ポルトランドセメントは, 普通ポルトランドセメントに比べて, 初期の強度発現性を高めるために C_3S の含有量が多くなるように工夫されている. C_2S は C_3S に比べて水和反応速度が遅く, 初期強度は低いが長期強度が大きい. 中庸熱ポルトランドセメントは, 普通ポルトランドセメントに比べて, C_3S や C_3A を減らし C_2S の量が多くなるよう調整されており, マスコンクリートに適用されている. C_4AF は水和反応速度が速いが, 水和熱は低い.

3. セメントの JIS (日本工業規格) 規格

- (1) JIS R 5210 (ポルトランドセメント) では, 早強ポルトランドセメントの材齢 1 日における圧縮強さの下限値を規定している.
- (2) JIS R 5210 では, 中庸熱ポルトランドセメントの水和熱の上限値を規定している.
- (3) JIS R 5211 (高炉セメント) では, 全アルカリ (%) の上限値を規定していない.
- (4) JIS R 5213 (フライアッシュセメント) では, 酸化マグネシウム (%) の上限値を規定している.
- (5) 高炉セメント B 種は, 高炉スラグの分量が質量で 30% を超え, 60% 以下と規定されており, 耐海水性や化学抵抗性にすぐれている.
- (6) 中庸熱ポルトランドセメントは, ケイ酸三カルシウムとアルミン酸

三カルシウムの含有率や水和熱の上限値が規定されており，普通ポルトランドセメントに比べて初期強度が小さい。

- (7) フライアッシュセメント B 種は，フライアッシュの分量が質量で 10% を超え，20% 以下と規定されており，初期強度は低いが，湿潤条件下で長期強度の伸びが大きい。
- (8) ポルトランドセメント（低アルカリ形）は，酸化ナトリウムと酸化カリウムの含有率（%）から次の式により求められた全アルカリが 0.60% 以下と規定されており，アルカリシリカ反応を抑制する効果がある。

$$\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = \text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{K}_2\text{O}$$

ここに，

$\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ ：ポルトランドセメント中の全アルカリの含有率（%）

Na_2O ：ポルトランドセメント中の酸化ナトリウムの含有率（%）

K_2O ：ポルトランドセメント中の酸化カリウムの含有率（%）

- (9) JIS R 5210（ポルトランドセメント）では，セメントの密度の範囲を規定していない。
- (10) JIS R 5210 では，中庸熱ポルトランドセメントに対して，ケイ酸三カルシウムの含有率を 50% 以下と規定している。
- (11) JIS R 5211（高炉セメント）では，高炉セメント C 種の高炉スラグの分量（質量%）を 60 を超え 70 以下と規定している。
- (12) JIS R 5213（フライアッシュセメント）では，フライアッシュセメント B 種のフライアッシュの分量（質量%）を 10 を超え 20 以下と規定している。
- (13) JIS R 5210 では，早強ポルトランドセメントに対して，材齢 1，3，7，28 日の圧縮強さの下限値を規定している。
- (14) JIS R 5211（高炉セメント）では，原材料として使用する高炉スラグの塩基度下限値を規定している。
- (15) JIS R 5213（フライアッシュセメント）では，フライアッシュセメント A，B，C 種に対して，材齢 3，7 および 28 日の圧縮強さの下限値を規定している。

4. JIS R 5210 の低熱ポルトランドセメントの規格

- (1) 材齢 7, 28 および 91 日の圧縮強さの下限値が規定されている。
- (2) 材齢 7 日および 28 日の水和熱の上限値が規定されている。
- (3) ケイ酸二カルシウムの含有率の下限値が規定されている。
- (4) 凝結の始発と終結については、普通ポルトランドセメントと同じ値が規定されている。

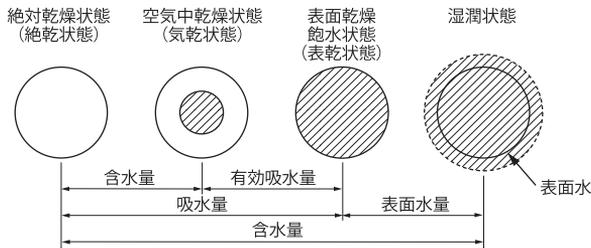
5. そ の 他

- (1) セメントが風化すると、新鮮なセメントと比較して強熱減量は増加し、比重（密度）は小さくなる。
- (2) 早強ポルトランドセメント中のせっこうは、セメントが瞬時に硬化するのを防ぐ役割を果たしている。
- (3) ポルトランドセメントクリンカーの主要な化学成分は、酸化カルシウム、二酸化ケイ素、酸化アルミニウムおよび酸化第二鉄である。
- (4) 高炉セメントの比重（密度）は、高炉スラグの分量が多くなるほど、小さくなる。
- (5) フライアッシュの密度は、セメントの密度より小さいので、フライアッシュの分量が多いものほどフライアッシュセメントの密度は小さくなる。
- (6) 初期材齢におけるセメントの圧縮強さは、クリンカーの鉱物組成ばかりでなく、セメントの粉末度によっても大きく影響される。
- (7) JIS A 5213（フライアッシュセメント）には、全アルカリに対して規定されていない。
- (8) JIS R 5201（セメントの物理試験方法）のセメントの強さ試験では、質量の比率がセメント 1, 標準砂 3, 水 0.5 となる配合のモルタルを用いる。

2.2 骨 材

【基礎知識】

●骨材の含水状態



$$\text{吸水率} = \text{吸水量} / \text{絶乾質量} \times 100\%$$

$$\text{含水率} = \text{含水量} / \text{絶乾質量} \times 100\%$$

$$\text{有効吸水率} = \text{有効吸水量} / \text{絶乾質量} \times 100\%$$

$$\text{表面水率} = \text{表面水量} / \text{表乾質量} \times 100\%$$

●単位容積質量

$$\text{単位容積質量} = (\text{容器中の試料の質量} / \text{容器の容積})$$

$$\times (\text{含水率測定用試料の乾燥後の質量} / \text{含水率測定用試料の乾燥前の質量})$$

●実積率

$$\text{実積率} = T \times 100 / D_D = T \times (100 + Q) / D_S$$

T : 単位容積質量 (絶乾)、 D_D : 骨材の絶乾密度

Q : 骨材の吸水率 (%)、 D_S : 骨材の表乾密度

●空隙率 = 100 - 実積率

●単位容積質量や実積率の利用

- ① 単位粗骨材 (かさ) 容積からコンクリートの配合計算に用いる
単位粗骨材容積の決定
- ② 粒形の良否の判定
- ③ 搬入骨材の検収

④骨材の在庫調査

⑤小規模工事における骨材の容積計算

- 粗粒率 (FM) = (80, 40, 20, 10, 5, 2.5, 1.2, 0.6, 0.3, 0.15mm
の各ふるいにとどまる試料の質量の百分率の和)/100

骨材豆知識

【粒度分布】多数の粒子から構成されている骨材や粉体などにおける粒子径の分布状態.

【粒度】骨材の大小の粒の分布の状態.

【粒径】粒子の径あるいは大きさ.

【実積率】容器に満たした骨材の絶対容積の、その容器の容積に対する百分率.

【粗粒率】80mm, 40mm, 20mm, 10mm, 5mm, 2.5mm, 1.2mm, 0.6mm, 0.3mm および 0.15mm の網ふるいの一組を用いてふるい分けを行った場合、各ふるいを通らない全部の試料の百分率の和を 100 で除した値.

【細骨材率】コンクリート中において、全骨材の絶対容積に占める細骨材の絶対容積の比率. s/a と表記する.

【粗骨材の最大寸法】質量で骨材の 90% 以上が通るふるいのうち、最小寸法のふるいの呼び寸法で示される粗骨材の寸法.

【アルカリシリカ反応】ナトリウムやカリウムなどのアルカリと反応性をもつ骨材が、セメント、その他のアルカリ分と長期にわたって反応し、コンクリートに膨張ひび割れ、ポップアウトを生じさせる現象.

【碎石】岩石をクラッシュなどで粉砕し、人工的につくった粗骨材.

【砕砂】岩石をクラッシュなどで粉砕し、人工的につくった細骨材.

【化学法】アルカリに対する骨材の潜在的な反応性を化学的に試験するもの.

【モルタルバー法】モルタルの長さ変化を測定することにより、骨材の潜在的な反応性を調べる試験.

【区分 A】アルカリシリカ反応性試験結果が無害と判定されたもの.