

1 コンクリート用材料

1.1 セメント

JIS に規定されているセメント

JIS R 5210 にポルトランドセメントが 6 種類とそれぞれの低アルカリ形が 6 種類、JIS R 5211・5212・5213 に 3 種類の混合セメント、JIS R 5214 にエコセメントが規定されている。

▼表 1-1 JIS に規定されているセメント

ポルトランドセメント	普通・早強・超早強・中庸熱・低熱・耐硫酸塩の 6 種類
同 (低アルカリ形)	同上
高炉セメント	普通ポルトランドセメントと高炉スラグを混合。混合割合で A 種・B 種・C 種に分類
シリカセメント	普通ポルトランドセメントとシリカ質混合材を混合。混合割合で A 種・B 種・C 種に分類
フライアッシュセメント	普通ポルトランドセメントとフライアッシュを混合。混合割合で A 種・B 種・C 種に分類
エコセメント	普通・速硬

①低アルカリ形セメントは、アルカリシリカ反応によるコンクリート構造物の損傷が発生したことに関連し、対策の一つとして規定された。セメント中の全アルカリ量を 0.6% 以下に保証したもので、1986 年に規定された。

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

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(%)

- ② 2003 年 11 月の改正により、セメントの原料・燃料の一部に使用されている廃棄物の使用量の増加に対応するため普通ポルトランドセメントの塩化物イオンの許容値が 0.02% から 0.035% に引き上げられた。
- ③ 2009 年 11 月の改正では、普通ポルトランドセメントの強熱減量が 3.0% 以下から 5.0% 以下に改正された。強熱減量 5.0% 以下は高炉セメント A・B・C 種、シリカセメント A 種、フライアッシュセメント A 種も含まれる。ただし、中庸熱、低熱、耐硫酸塩ポルトランドセメントは 3.0% 以下。
- ④混合セメントに用いる混和材。
 - i) 高炉スラグ：急冷砕した塩基度 1.6 以上のもの。
 塩基度 = $(CaO + MgO + Al_2O_3) / SiO_2$
 - ii) シリカ質混合材：二酸化けい素分 60% 以上を含むもの。火山灰や白土など。
 - iii) フライアッシュ：JIS A 6201 (コンクリート用フライアッシュ) に適合する I 種、または II 種。
- ⑤エコセメント：都市ごみ焼却灰等の廃棄物を主原料とした資源リサイクル型のセメントで 2002 年 7 月に JIS 化された。製品 1 t につき廃棄物を乾燥ベースで 500 kg 以上使用するセメントと定義されている。セメント中の塩化物量が質量の 0.1% 以下の「普通エコセメント」と、0.5% 以上 1.5% 以下の「速硬エコセメント」の 2 種類。普通エコセメントは、JIS A 5308 のセメントに該当するが、高強度コンクリートには使用できない。
- ⑥ JIS にない特殊なセメント。
 - i) 白色セメント：普通ポルトランドセメントに近い品質で、白色。
 - ii) アルミナセメント：材齢 1 日強度が普通ポルトランドセメント材齢 28 日と同等で、化学抵抗性が大。
 - iii) 超速硬セメント：吹付けに使用される。超早強。
 - iv) 膨張性セメント：膨張材を加え乾燥収縮や温度ひび割れ対策用。
 - v) 高ビーライト系セメント： C_2S が主成分になるよう調整。低発熱用。
 - vi) 超微粒子セメント：粒子を微粉碎。トンネルの止水、地盤注入用。
 - vii) 2 成分・3 成分系低発熱セメント：混合材の種類、混合率を指定。二酸化炭素の換算排出量が少ないとして高強度コンクリート用途に注目。
 - viii) 油井セメント：地盤・岩盤などの裏込め用。
 - ix) セメント系固化材：軟弱地盤などの地盤改良用。

⑦セメント協会の資料では、石灰石の脱炭酸と化石燃料の燃焼でセメント 1 t の製造による二酸化炭素排出量は、普通ポルトランドセメントが 770 kg、高炉セメント B 種が 440 kg。

ポルトランドセメント

- ①石灰石と粘土を主成分とする原料(セメント 1 t の製造につき、石灰石 1,100 kg、粘土 200 kg、珪石・鉄原料等 100 ~ 200 kg) を 1,450°C で焼成してできるクリンカーに、凝結調整のためせっこうを 3 ~ 4% 程度加えて粉砕したもの。
- ②酸化カルシウム (CaO)、二酸化けい素 (SiO_2)、酸化アルミニウム (Al_2O_3)、酸化第二鉄 (Fe_2O_3) が主要化学成分で、互いに結合してクリンカーの組成化合物を構成する。
- ③三酸化硫黄 (SO_3)：せっこうに含まれ、過少では異常凝結、過多では膨張する。
- ④強熱減量：新鮮度の目安となり、風化度が進むと大きくなる。2009 年の JIS 改正で強熱温度が $975 \pm 25^\circ C$ から $950 \pm 25^\circ C$ に変更された。
- ⑤クリンカー：けい酸三カルシウム (C_3S ：エーライト)、けい酸二カルシウム (C_2S ：ビーライト)、アルミン酸三カルシウム (C_3A ：アルミネート相)、鉄アルミン酸四カルシウム (C_4AF ：フェライト相)。これらの組成化合物の含有量を変えることにより、各種のポルトランドセメントが製造される。なお、普通、早強、超早強ポルトランドセメントには、少量混合成分として 5% 以下の高炉スラグ、フライアッシュ、シリカ質混合材、石灰石の添加が認められている。
- ⑥セメントの製造には原料や燃料として廃棄物が大量に使用されている。建設発生土、下水汚泥や各種焼却灰、廃タイヤや廃プラスチックなどで、使用量はセメント 1 t あたり、1990 年 227 kg、2000 年 332 kg、2019 年 473 kg。

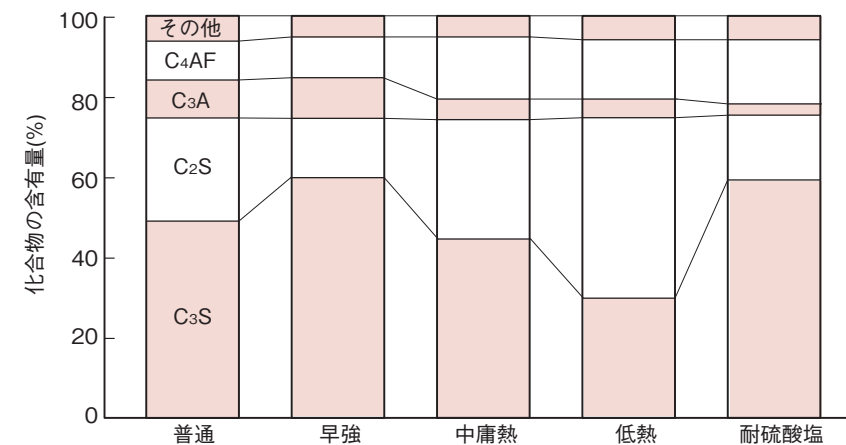
▼表 1-2 セメントクリンカーの組成化合物とその特徴

組成化合物	特 徴				
	水和反応速度	強度発現に寄与する時期	水和熱	収縮量	化学抵抗性
C_3S エーライト	比較的速い	28 日以内の早期	中	中	中
C_2S ビーライト	遅い	28 日以降の長期	非常に小	小	大
C_3A アルミネート相	非常に速い	1 日以内の早期	大	大	小
C_4AF フェライト相	速い	ほとんど寄与しない	小	小	中

⑥ポルトランドセメントの種類。

- i) 普通：最も多く使用される一般的なセメント。
- ii) 早強： C_3A が多く、粉末度が大きい。早期強度および水和熱が大。
- iii) 超早強：早強ポルトランドセメントよりも C_3A が多く、大きな粉末度で強度を早期化。
- iv) 中庸熱：水和熱が高ならないように、 $C_3S \leq 50\%$ 、 $C_3A \leq 8\%$ と規定。
- v) 低熱：水和熱を下げるために、 C_2S 量が多く、 $C_2S \geq 40\%$ 、 $C_3A \leq 6\%$ と規定。
- vi) 耐硫酸塩： $C_3A \leq 4\%$ と規定し、海洋構造物や温泉地帯に対応。

▼図 1-1 ポルトランドセメントの組成化合物の含有量



1 コンクリート用材料

1.1 セメント

問 1 JIS R 5210(ポルトランドセメント)に規定されている普通・早強・中庸熱・低熱ポルトランドセメントは、けい酸二カルシウム(C₂S)と呼ばれる化合物を含んでいる。C₂S含有量を多い順に並べた次の組合せのうち、正しいものはどれか。【2015-2】

- (1) 早強 > 普通 > 中庸熱 > 低熱
 (2) 中庸熱 > 早強 > 低熱 > 普通
 (3) 普通 > 低熱 > 早強 > 中庸熱
 (4) 低熱 > 中庸熱 > 普通 > 早強

【正解】(4) けい酸二カルシウム(C₂S)は水和速度が遅く長期強度の増進に寄与し、水和熱の小さいクリンカーの組成化合物である。したがって、初期強度と発熱量の小さい順にセメントを並べると、低熱<中庸熱<普通<早強となり、けい酸二カルシウムの含有量の多い順となる。

問 2 JIS R 5210(ポルトランドセメント)の規定に関する次の記述のうち、正しいものはどれか。【2017-2】

- (1) 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よりも比表面積の下限値が小さく規定されている。
 (2) 中庸熱ポルトランドセメントは、けい酸三カルシウム(C₃S)の下限値が規定されている。
 (3) 低熱ポルトランドセメントは、材齢 91 日の圧縮強さの下限値が規定されている。
 (4) 耐硫酸塩ポルトランドセメントは、けい酸二カルシウム(C₂S)の上限値が規定されている。

【正解】(3) (1)早強ポルトランドセメントの比表面積の下限値は 3300 cm²/g、普通ポルトランドセメントの下限値は 2500 cm²/g である。比表面積を大きくすると、強度発現が早くなる。(2)中庸熱ポルトランドセメントは水和反応が比較的早いけい酸三カルシウムの上限値が 50%以下と規定されている。(4)耐硫酸塩ポルトランドセメントのけい酸二カルシウム量は規定されていない。

問 3 JIS R 5210(ポルトランドセメント)の規定に関する次の記述のうち、誤っているものはどれか。【2020-1】

- (1) 普通ポルトランドセメントでは、質量で 5%までの少量混合成分を用いてもよいことが規定されている。
 (2) 早強ポルトランドセメントでは、普通ポルトランドセメントよりも比表面積の下限値が大きく規定されている。
 (3) 中庸熱ポルトランドセメントでは、けい酸二カルシウム(C₂S)の上限値が規定されている。
 (4) 低熱ポルトランドセメントでは、材齢 91 日の圧縮強さの下限値が規定されている。

【正解】(3) 中庸熱ポルトランドセメントでは、けい酸二カルシウム(C₂S)の上限値は規定されていない。けい酸二カルシウム(C₂S)の下限値が規定されているのは低熱ポルトランドセメントである。

問 4 セメントの組成化合物に関する次の記述中の空欄(A)～(C)に当てはまる(1)～(4)の語句の組合せのうち、適当なものはどれか。ただし、けい酸三カルシウムを C₃S、けい酸二カルシウムを C₂S、アルミン酸三カルシウムを C₃A、および鉄アルミン酸四カルシウムを C₄AF と略記する。【2021-1】

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(A)の含有率を多くすることで、初期の強度発現性を高めている。低熱ポルトランドセメントは、水和熱を下げるために(B)の含有率が中庸熱ポルトランドセ

メントより多く、JIS R 5210(ポルトランドセメント)では、低熱ポルトランドセメントの(B)の含有率の(C)が規定されている。

	(A)	(B)	(C)
(1)	C ₃ S	C ₄ AF	上限値
(2)	C ₃ S	C ₂ S	下限値
(3)	C ₃ A	C ₂ S	上限値
(4)	C ₃ A	C ₄ AF	下限値

【正解】(2) 早強セメントは、普通セメントより C₃S の含有率が多い。また、低熱セメントは中庸熱セメントより C₂S の含有率が多く、その下限値が 40%と規定されている。

問 5 JIS R 5210(ポルトランドセメント)および JIS R 5211(高炉セメント)の規定に関する次の記述のうち、誤っているものはどれか。【2022-2】

- (1) JIS R 5210(ポルトランドセメント)では、各種ポルトランドセメントの少量混合成分の含量が規定されている。
 (2) JIS R 5210(ポルトランドセメント)では、各種ポルトランドセメントの塩化物イオンの上限値が規定されている。
 (3) JIS R 5211(高炉セメント)では、凝結時間の違いから A 種、B 種、C 種の 3 種類の高炉セメントが規定されている。
 (4) JIS R 5211(高炉セメント)では、各種高炉セメントの強熱減量の上限値が規定されている。

【正解】(3) (1)質量で 5%までの少量混合成分を用いて良いことが規定されており適当。(2)ポルトランドセメントは塩化物イオンの上限値が普通、早強、超早強で 5.0%、中庸熱、低熱、耐硫酸で 3.0%と規定されており適当。(3)高炉セメントは凝結時間の違いでなく、高炉スラグの分量で A 種(5%を超え 30%以下)、B 種(30%を超え 60%以下)、C 種(60%を超え 70%以下)と規定している。(4)高炉セメントは強熱減量の上限値を 5.0%以下と規定されており適当。

問 6 JIS R 5210(ポルトランドセメント)、JIS R 5211(高炉セメント)および JIS R 5213(フライアッシュセメント)の規定に関する次の記述のうち、正しいものはどれか。【2018-1】

- (1) 普通ポルトランドセメントに対して、材齢 1 日における圧縮強さの下限値が規定されている。
 (2) 中庸熱ポルトランドセメントに対して、けい酸三カルシウム(C₃S)の上限値が規定されている。
 (3) 高炉セメントに対して、全アルカリ量の上限値が規定されている。
 (4) フライアッシュセメントに対して、水和熱の上限値が規定されている。

【正解】(2) (1)普通ポルトランドセメントの圧縮強度の下限値は、材齢 3 日、7 日、28 日が規定され、材齢 1 日は規定されていない。(2)中庸熱ポルトランドセメントは水和反応が比較的早いけい酸三カルシウムの上限値が 50%以下と規定されている。(3)高炉セメントの全アルカリ量の上限値は規定されていない。(4)フライアッシュセメントの水和熱の上限値は規定されていない。

問 7 ポルトランドセメントに関する次の一般的な記述のうち、不適当なものはどれか。【2019-1】

- (1) けい酸三カルシウム(C₃S)が多いと、早期の強度発現は大きくなる。
 (2) 風化が進むと、強熱減量は小さくなる。
 (3) 耐硫酸塩ポルトランドセメントは、アルミン酸三カルシウム(C₃A)の含有率が少ない。
 (4) 中庸熱ポルトランドセメントは、マスコンクリートや高強度コンクリートに適している。

1 2023 年度 試験問題

2023-1

下表は、セメントクリンカーの主要な組成化合物であるけい酸三カルシウム(C₃S)、けい酸二カルシウム(C₂S)、アルミン酸三カルシウム(C₃A)および鉄アルミン酸四カルシウム(C₄AF)の特性を示したものである。表中の空欄(A)～(C)の組合せとして、適当なものはどれか。

略号	特性			
	水和反応速度	水和熱	収縮	化学抵抗性
C ₃ S	比較的速い	中	中	中
C ₂ S	遅い	(B)	小	(C)
C ₃ A	(A)	大	大	小
C ₄ AF	かなり速い	小	小	中

	(A)	(B)	(C)
(1)	非常に速い	大	中
(2)	非常に速い	小	大
(3)	遅い	中	小
(4)	遅い	小	大

2023-2

JIS R 5211(高炉セメント)およびJIS R 5213(フライアッシュセメント)の規定に関する次の記述のうち、誤っているものはどれか。

- (1)高炉セメントB種では、スラグの分量(質量%)は、30を超え60以下と規定されている。
- (2)高炉セメントB種では、強熱減量の上限值が規定されている。
- (3)フライアッシュセメントB種では、フライアッシュの分量(質量%)は、20を超え30以下と規定されている。
- (4)フライアッシュセメントB種では、強熱減量の上限值が規定されていない。

2023-3

下表は、粗骨材のふるい分け試験結果を示したものである。この粗骨材の最大寸法と粗粒率を示した次の組合せのうち、正しいものはどれか。

ふるい分け試験結果

ふるいの呼び寸法(mm)	40	25	20	15	10	5	2.5	1.2
各ふるいを通過する質量分率(%)	100	98	91	69	35	5	2	0

- (1)最大寸法：20 mm、粗粒率：7.00
- (2)最大寸法：25 mm、粗粒率：6.67
- (3)最大寸法：25 mm、粗粒率：7.00
- (4)最大寸法：20 mm、粗粒率：6.67

2023-4

骨材の品質とコンクリートの性状に関する次の一般的な記述のうち、適当なものはどれか。

- (1)弾性係数の大きい粗骨材は、コンクリートの乾燥収縮を増加させる。
- (2)骨材中に含まれる粘土塊は、コンクリートの強度や耐久性を向上させる。
- (3)細骨材中に含まれる有機不純物は、量が多いとコンクリートの硬化を妨げ、強度や耐久性を低下させる。
- (4)安定性試験による損失量の大きい粗骨材は、コンクリートの耐凍害性を向上させる。

2023-5

JIS A 6204(コンクリート用化学混和剤)の規定に関する次の記述のうち、誤っているものはどれか。

- (1)すべての化学混和剤で、試験コンクリート中の全アルカリ量が0.30 kg/m³以下となるように規定されている。
- (2)流動化剤の試験では、スランブ8±1 cmの基準コンクリートにスランブが18±1 cmになるよう流動化剤を添加し、基準コンクリートと流動化コンクリートの各種試験結果を比較する。
- (3)高性能減水剤には、凍結融解に対する抵抗性が規定されている。
- (4)AE減水剤には、標準形、遅延形、促進形がある。

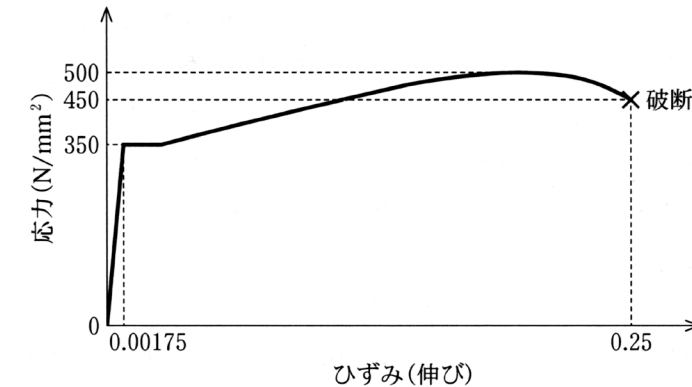
2023-6

各種混和材を用いたコンクリートの性状に関する次の一般的な記述のうち、不適当なものはどれか。

- (1)高炉スラグ微粉末を用いると、硫酸塩に対する抵抗性が向上する。
- (2)シリカフェームを用いると、材料分離に対する抵抗性が向上する。
- (3)フライアッシュを用いると、中性化に対する抵抗性が向上する。
- (4)火山ガラス微粉末を用いると、長期強度が増加する。

2023-7

下図は、JIS G 3112(鉄筋コンクリート用棒鋼)に規定されている異形棒鋼の引張試験によって求められた応力-ひずみ関係の模式図である。次の記述のうち、不適当なものはどれか。



- (1)弾性係数(ヤング率)は、200 kN/mm²である。
- (2)引張強さは、500 N/mm²である。
- (3)破断伸びは、25%である。
- (4)異形棒鋼の種類は、SD390である。

2023-8

回収水を練混ぜ水として使用する場合に関する次の記述のうち、不適当なものはどれか。

- (1)JIS A 5308(レディーミクストコンクリート)では、上澄水は、品質試験を行わずに上水道水と混合して使用できると規定されている。
- (2)スラッジ固形分が増えると、細骨材率を小さくする必要がある。
- (3)スラッジ固形分が増えると、コンシステンシーを一定とするために、単位水量を増やす必要がある。
- (4)スラッジ水を使用する場合、AE剤の使用量を変えないと、空気量が減少する傾向にある。

2023-9

コンクリート分野の環境問題に関する次の一般的な記述のうち、不適当なものはどれか。

- (1)ポルトランドセメント製造時の1トン当たりのCO₂排出量は、おおよそ700～800 kgである。
- (2)構造物を解体して生じたコンクリート塊は、大半が再生骨材として利用されている。
- (3)セメント製造時に使用されている廃棄物や産業副産物の量は、セメント1トン当たりおおよそ450～500 kgである。