

第1回 コンクリート材料

1. セメント

(1) セメントの主原料

表3・7 ポルトランドセメントの主原料(セメント1tを作るのに必要な原料)

	原 料	主 成 分	セメント1tを作るのに必要な量	摘 要
石灰質原料 (80%)	石灰石	CaO (60~66%)	約1130kg	一般にCaCO ₃ として95%以上の良質のものが使用される。
粘土質原料 (20%)	粘 土	SiO ₂ (20~26%) Al ₂ O ₃ (4~9)	約 240kg	粘土, 頁岩, 泥岩, 粘板岩, ローム等。
	けい石	SiO ₂ (補 充)	約 50kg	粘土中のSiO ₂ が不足するときこれを補充するために加えるもので, 軟質けい石, 可溶性白土等。
	鉬 滓	Fe ₂ O ₃ (2~3.5)	約 35kg	粘土中のFe ₂ O ₃ を補充するために加えるもので, 銅からみ, パーライトシンダー等。
	石こう	CaSO ₄ ·2H ₂ O (3.0)	約 33kg	凝結時間を調節する目的で加えるもので, 化学石こう・天然石こう。

石炭115kg, 重油4l, 電力110kwh

(2) セメントの種類

JISに規定有り	JISに規定なし
普通ポルトランドセメント 早強ポルトランドセメント 超早強ポルトランドセメント 中庸熱ポルトランドセメント 耐硫酸塩ポルトランドセメント 高炉セメント シリカセメント フライアッシュセメント	超速硬セメント、アルミナセメント 油井セメント コロイドセメント 白色ポルトランドセメント 膨張セメント

(3) ポルトランドセメント

(a) 化学成分と化合物

主な化学成分 CaO、SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、SO₃

表3・2 ポルトランドセメントの化学成分*

セメントの種類	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	ig. loss 強熱減量	insol. 不溶解 残分
普通	21.06 ~23.21	4.53 ~6.22	2.64 ~3.62	63.46 ~65.42	0.87 ~2.59	1.03 ~2.13	0.65 ~1.60	0.16 ~0.85
早強	20.40 ~21.59	4.56 ~5.48	2.58 ~2.88	65.12 ~66.05	0.93 ~2.03	1.68 ~2.51	0.62 ~2.13	0.20 ~1.00
超早強	19.5 ~20.0	4.7 ~5.2	2.5 ~2.9	65.2 ~66.0	1.0 ~1.7	3.6 ~4.2	1.1 ~1.5	0.0 ~0.2
中庸熱	23.0 ~23.8	3.8 ~4.4	3.5 ~4.0	64.0 ~64.5	0.8 ~1.5	1.4 ~2.0	0.3 ~0.8	0.0 ~0.3
耐硫酸塩	21.8 ~22.8	3.6 ~4.2	5.2 ~5.4	63.9 ~64.2	0.9 ~1.3	1.5 ~2.0	0.3 ~0.6	0.1 ~0

主な化合物

アリット（あるいは、エーライト）..... けい酸三石灰 ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_3\text{S}$)

ベリット（あるいは、ビーライト）..... けい酸二石灰 ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_2\text{S}$)

セリット..... アルミン鉄酸四石灰



アルミン酸三石灰 ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)

表3・3 各種ポルトランドセメントの化合物組成(重量%)

ポルトランドセメントの種類	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
普通セメント	42～67	18～31	5～14	6～12
早強セメント	45～70	10～30	7～17	6～10
超早強セメント	65～72	5～8	7～10	7～9
中庸熱セメント	20～45	30～56	4～8	6～16
耐硫酸塩セメント	49～56	20～28	0～2	12～16

(b) 主要4成分と物理的性質

i) 強さ

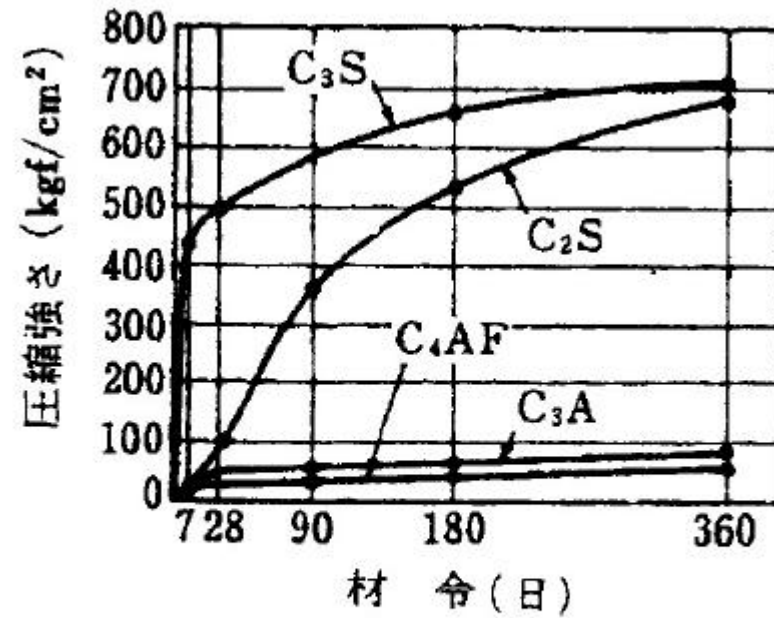


図3・1 組成化合物の水和材令と圧縮強さ

ii) 水和熱

セメントが水と接して水和反応を起こす際に熱を発する。この熱を**水和熱**という。化合物上で見れば、



となる。

表3・5 各種セメントの水和熱 (cal/g)

セメントの種類	材 令	7 日	28 日	91 日
普通ポルトランドセメント		70-80	80-90	90-100
早強ポルトランドセメント		75-85	90-100	95-105
中庸熱ポルトランドセメント		55-65	70-80	75-85
高炉セメント B種		55-70	75-85	80-90
シリカセメント A種		65-75	75-85	80-90
フライアッシュセメント B種		55-65	70-80	75-85

(セメント協会)

iii) 収縮 (水和に伴うもの)

硬化セメントは、本質的に収縮する。収縮は、水量にもよるが、化合物組成の影響が大きい。水和に伴う収縮以外に、乾燥による収縮、炭酸化による収縮などもある。

表3・6 セメント組成化合物の収縮率分担係数

化 合 物	収 縮 率
C ₃ A	0.00234 ± 0.000100
C ₃ S	0.00079 ± 0.000036
C ₄ AF	0.00049 ± 0.000114
C ₂ S	0.00077 ± 0.000036

(c) 物理的性質

i) 比重

シリカ分、鉄分が多いほど大きくなる。普通セメント3.15、早強セメント3.13

ii) 粉末度

「ブレン空気透過法」により、比表面積で表される。

表3・8 ポルトランドセメントの粉末度

	比表面積(ブレン値)(cm^2/g)				
	普通セメント	早強セメント	超早強セメント	中庸熱セメント	耐硫酸塩セメント
規格値	2500以上	3300以上	4000以上	2500以上	2500以上
測定値	2800~3600	3600~4500	5560~6230	2900~3300	3140~

iii) 凝結

凝結時間に関しては、一般に次の傾向がある。

水量が多いと凝結は遅れる。

温度が高いほど凝結は早まる。

湿度が低いほど早くなる。

粉末度が高いと凝結は早い。

C_3A が多いと凝結は早い。

風化すると異常凝結を起こすことがある。

表3・9 ポルトランドセメントの凝結時間

		凝 結 時 間				
		普 通 セメント	早 強 セメント	超 早 強 セメント	中 庸 熱 セメント	耐硫酸塩 セメント
規格値	始 発 (min)	60 以後	45 以後	45 以後	60 以後	60 以後
	終 結 (h)	10 以内	10 以内	10 以内	10 以内	10 以内
測定値 (平均)	始 発 (h-min)	2-31	2-25	1-46	3-04	2-42
	終 結 (h-min)	3-45	4-44	3-10	4-23	4-32

iv) 強さ

セメントの強さは、セメントペーストでの強さではなく、モルタルとしての強さで表す。

表3・11 ポルトランドセメントの強さ規格と実際強さ

種 類	強さ 材令	曲げ強さ (kgf/cm ²)				圧縮強さ (kgf/cm ²)			
		1日	3日	7日	28日	1日	3日	7日	28日
普通セメント	実際	~	32.7	50.6	73.3		133	240	408
	規格						70以上	150以上	300以上
早強セメント	実際	34.2	53.2	66.4	80.1	129	238	338	453
	規格					65以上	130以上	230以上	330以上
超早強セメント	実際	47.3	63.9	72.4	77.6	202	328	395	453
	規格					130以上	200以上	280以上	350以上
中庸熱セメント	実際		30.3	41.7	70.6		109	172	371
	規格						50以上	100以上	230以上
耐硫酸塩 セメント	実際		31.0	50.0	67.0		140	233	382
	規格						70以上	140以上	280以上

(d) ポルトランドセメントの種類別特徴

i) 普通ポルトランドセメント

全国どこでも入手できる最も汎用性の高いセメント シェア：約 73%

ii) 早強ポルトランドセメント

普通セメントより C_3S の含有量を多く、 C_2S を少なくすると共に粉末度を高くしたものの。初期強度の発現性に優れる。緊急工事、寒冷期の工事用、コンクリート製品

iii) 超早強ポルトランドセメント

早強セメントよりさらに C_3S を多くし、 C_2S を少なくすると共に石灰飽和度を玉減摩で高め、粉末度を著しく増大させたもの。緊急工事、補修工事、グラウト用

iv) 中庸熱ポルトランドセメント

水和熱を低くしたセメント。 C_3S と C_3A の含有量を制限し、 C_2S をかなり多くしたものの。乾燥収縮が小さい。ダム、大規模橋脚工事

v) 耐硫酸塩ポルトランドセメント

土壌中の硫酸塩や海水や工場廃水などに対する耐硫酸塩の工場を目的としたもの。 C_3A 含有量を 4% 以下に制限。海洋構造物

vi) 高炉セメント

溶融している高炉スラグを水を用いて急冷、粉碎したものを混合材に用いたセメント

海水に対する抵抗性に優れる

水和反応によってできる組織が緻密

vii) フライアッシュセメント

フライアッシュ（火力発電所で燃料として使用した微粉炭燃焼の飛散ダストを補修したもの）を混合したもの。セメントの水和の際に生成する水酸化カルシウム（ Ca(OH)_2 ）と、ポゾラン材料中の可溶性シリカ、アルミナとが反応して、非水溶性のカルシウム塩を生成し、強度と水密性を発現し海水などに対する耐化学性が向上する。

2. 水

練混ぜ水には、上水道水、河川水、湖沼水、地下水、工業用水などが使用される。無筋コンクリートには、海水を用いても良い。

3. 骨材

(1) 細骨材

粒子の大きさが5mm以下

「細骨材は、洗浄、堅硬、耐久的で、適切な粒度をもち、ごみ、どろ、有機不燃物、塩化物等を有害量含んではならない。」

(土木学会コンクリート標準示方書施工編)

絶乾比重 2.5以上、吸水率 3.5%以下、安定性 10%以下

(2) 粗骨材

5mmを超えるもの。最近は、山を削って作られている(砕石)。

「粗骨材は、洗浄、洗浄、堅硬、耐久的で、適切な粒度をもち、薄い石片、細長い石片、有機不燃物、塩化物等を有害量含んではならない。特に耐火性を必要とする場合には、耐火的な粗骨材を用いなければならない。」

(土木学会コンクリート標準示方書施工編)

・絶乾比重 2.5以上、吸水率 3.0%以下、安定性 12%以下

(a) ポゾラン

ポゾランは、それ自体には水硬性はなく、コンクリート中の水に溶けている水酸化カルシウムと常温で徐々に化合して、不溶性の化合物を作るようなシリカ質を含んだ微粉状態の材料をいう。

フライアッシュ:

火力発電所の微粉炭の灰分。粒子が球状。ワーカビリティがよくなり、使用水量を減らすことが出来る（高強度化）。早期強度は低いが、長期強度は大である。

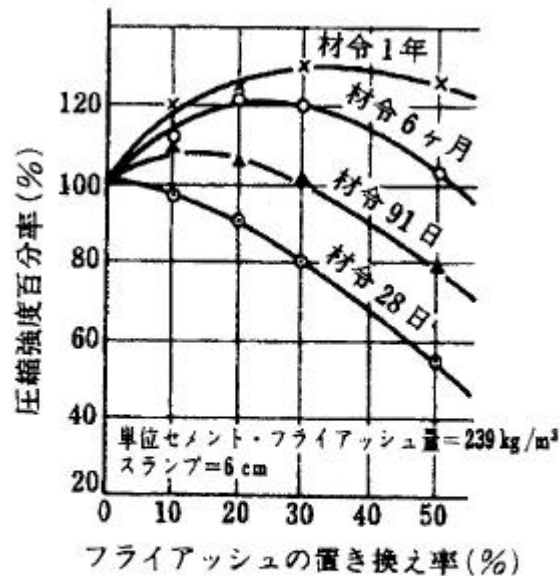


図3・11 フライアッシュ置き換え率とコンクリート圧縮強度との関係(吉越)

表1 フライアッシュの品質

項		目	規定値
二酸化けい素		%	45.0 以上
湿分		%	1.0 以下
強熱減量		%	5.0 以下
比重			1.95 以上
粉末度 ⁽¹⁾	45 μm ふるい残分 (網ふるい方法) ⁽²⁾	%	40 以下
	比表面積 (ブレン方法)	cm ² /g	2 400 以上
フロー値比		%	92 以上
活性度指数	%	材齢 28 日	80 以上
		材齢 91 日	90 以上

注(1) 粉末度は、網ふるい方法又はブレン方法による。

(2) 粉末度を網ふるい方法による場合は、ブレン方法による比表面積の試験結果を参考値として併記する。

シリカヒューム:

各種シリコン合金を製造する際の副産物。シリカ (SiO₂) が80～95%。平均粒径が0.1μ程度。比表面積が普通ポルトランドセメントの50～60倍の粒形の超微粒子。組織の緻密化、高強度化、化学薬品抵抗性の向上等が期待できる。

表1 シリカフュームの品質

品 質		規 定 値
比表面積 (BET 方法) m ² /g		10 以上
活性度指数 %	材齢 7 日	95 以上
	材齢 28 日	105 以上
二酸化けい素	%	85 以上
酸化マグネシウム	%	5.0 以下
三酸化硫黄	%	3.0 以下
強熱減量	%	5.0 以下
湿 分	%	3.0 以下

(b) 高炉スラグ微粉末

高炉で銑鉄を製造するときに生ずるノロ（スラグ）を急冷したもの。急冷スラグを水さいという。コンクリートに用いる高炉スラグは、この水さいのことをいう。

表1 高炉スラグ微粉末の品質

品質		種類	高炉スラグ微粉末 4000	高炉スラグ微粉末 6000	高炉スラグ微粉末 8000
比重			2.80 以上	2.80 以上	2.80 以上
比表面積		cm ² /g	3 000 以上 5 000 未満	5 000 以上 7 000 未満	7 000 以上 10 000 未満
活性度指数	%	材齢 7 日	55 以上 ⁽¹⁾	75 以上	95 以上
		材齢 28 日	75 以上	95 以上	105 以上
		材齢 91 日	95 以上	105 以上	105 以上
フロー値比		%	95 以上	95 以上	90 以上
酸化マグネシウム		%	10.0 以下	10.0 以下	10.0 以下
三酸化硫黄		%	4.0 以下	4.0 以下	4.0 以下
強熱減量		%	3.0 以下	3.0 以下	3.0 以下
塩化物イオン		%	0.02 以下	0.02 以下	0.02 以下

注(1) この値は、受渡当事者間の協定によって変更できるものとする。

(2) 混和剤

アニオン系 (陰イオン)	樹脂酸ソーダ塩	}	空気連行
	アビエチン酸ソーダ塩		
	トリエタノールアミン	}	空気連行, 分散
	アルキルアリルスルホン酸塩 (アルキルベンゼンスルホン酸塩)		
	リグニンスルホン酸塩		
オキシカルボン酸塩	}	減水, 分散	
ポリオキシエチレン・アルキルア リルエーテル			
ノニオン系 (非イオン)	ポリオキシエチレングリコール・ フェノールノニールエーテル	}	湿潤, 空気連行
	脂肪酸と樹脂のポリオキシエチレ ンエステル		

(a) AE剤

微小な独立した空気泡をコンクリート中に一様に分布させるために用いる材料である。ワーカビリティの改善と凍結融解の抵抗性の向上が期待できる。

エントレインドエアー (Entrained air)

エントラップトエアー (Entrapped air)

(b) 減水剤

所定のコンシステンシーを得るために必要な単位水量を減少させ、コンクリートのワーカビリティなどを向上させるために用いる混和剤である。

減水剤がセメント粒子の界面に吸着され、静電的に反発させることにより、セメント粒子を分散させる効果を持つ。空気連行性のない減水剤（減水率3～8%）と空気連行性のある減水剤（減水率12～16%）とがある。後者はAE剤としての利点も兼ね備えている。



図3・8 減水剤を用いないものはフロック状態に凝集している

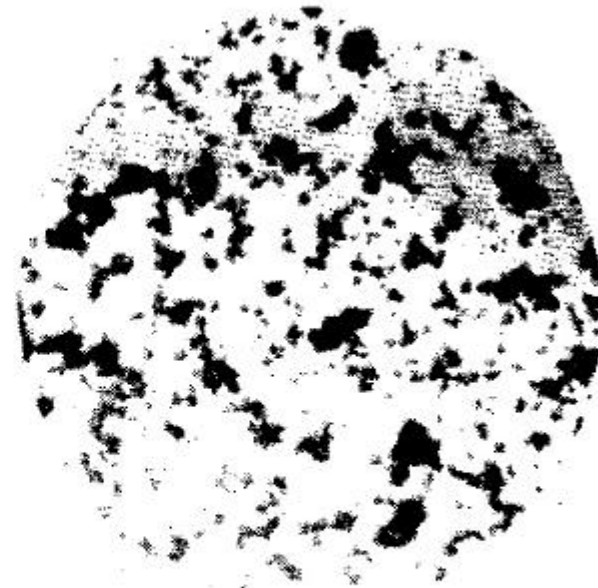


図3・9 減水剤を添加したものはよく分散している

(c) 高性能減水剤

西ドイツと日本で開発されたものであり、減水剤よりも大きな効果が期待できる。セメントの凝結遅延性や空気連行性がないため多量添加が可能で、セメント粒子の分散作用に著しく優れている。

最近では、これに空気連行性を加味した**高性能AE減水剤**が主流になっている。セメント分散作用による高減水化と同時に、空気連行による効果を狙ったものである。

以上