

平成15年度 前期

コンクリート工学

～ 講義を始める前に ～

出席・遅刻・欠席者の取扱いについて

1. 授業開始15分までに教室にきた者は、正規の出席扱いとする。
2. 授業開始15～30分の間に教室にきた者は、遅刻扱いとする。
3. 遅刻2回で欠席1回とする。
4. 授業開始30分以降に教室にきた者は、欠席扱いとする。

なお、

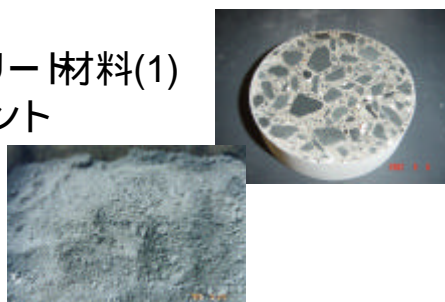
- 公共交通機関の遅延により遅れた場合は、下記に従うこととする。
- イ. 授業開始30分までに教室にきた者は、正規の出席扱いとする。
 - ロ. 授業開始30～45分の間に教室にきた者は、遅刻扱いとする。
 - ハ. 遅刻2回で欠席1回とする。
 - ニ. 授業開始45分以降に教室にきた者は、欠席扱いとする。

さらに、以下の理由により欠席する場合は、下記の通り取り扱う。この場合、必ず欠席届を提出すること。

- 欠席理由
病欠、急引き、就職活動、部活 & サークル 活動
- 取扱い
・1回につき0.5回の欠席とする

コンクリート工学 第2回

コンクリート材料(1) セメント



途中と最後に、小テスト有り!!

【セメントの歴史】

- ・エジプトのピラミッドで焼き石膏と石灰が用いられる。
- ・イギリスのれんが職人 J. Aspdin が石灰石と粘土を混ぜたスラリーを石灰窯で高温焼成したものを粉砕してセメントを作る。

セメントの硬化後の状態 = Portland 島産の天然石

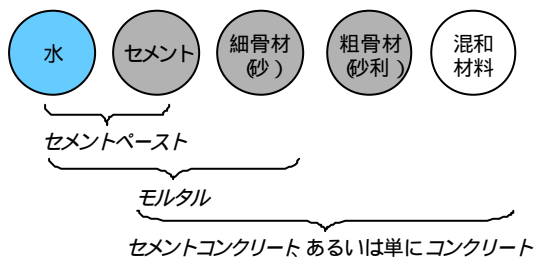
Portland Cement (ポルトランドセメント) と命名

- ・1875年(明治8年) 宇都宮三郎(工部省技術官)がセメントの国産化に成功

【コンクリートとは】

骨材 (Aggregate) を結合材 (binder) で固めた材料の総称

Concrete : a. 具体的な凝結した
n. コンクリート凝結物
vt. コンクリートで固める、凝結させる



【コンクリートの特徴】

長所

- ・型枠によって任意の形状で構造物をつくることができる。
- ・材料の調達容易で、現在では「生コン」をほとんどの地域で入手できる。
- ・材料と配合を変えることにより、所要の強度の部材を容易につくることができる。
- ・耐久性、耐火性などが他の材料より優れている。
- ・構造物の維持、管理費が他の材料より少なくて済む。
- ・製造、施工が比較的容易で、特別な熟練工を必要としない。
- ・価格が安く、経済的である。

短所

- ・重量が重く基礎工事費が大となる。
- ・圧縮強度に比べ、引張強度がきわめて小さくもろい。
- ・収縮による体積変化が大きくひび割れを発生しやすい。
- ・所要の強度を発揮するのに養生日数を要する。
- ・構造物の解体に時間と費用がかかる。
- ・品質に対する影響因子が多くばらつきが比較的大である。

【JISに規定されているセメント】

JISに規定有り	JISに規定なし
普通ポルトランドセメント	超速硬セメント、アルミナセメント
早強ポルトランドセメント	油井セメント、地熱セメント
超早強ポルトランドセメント	白色ポルトランドセメント、カラーセメント
中庸熱ポルトランドセメント	超微粉末セメント
低熱ポルトランドセメント	低発熱型3成分セメント
耐硫酸塩ポルトランドセメント	膨張セメント
高炉セメント	
シリカセメント	
フライアッシュセメント	

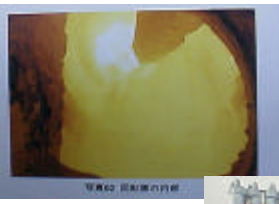
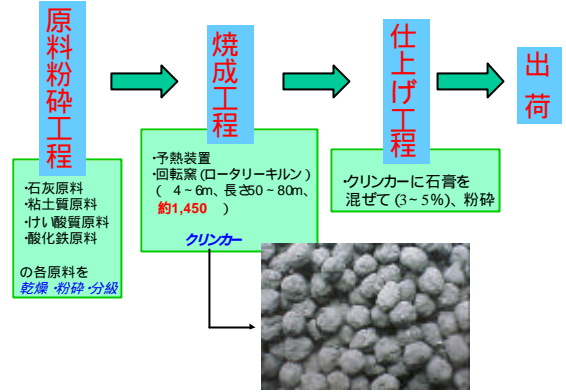
【ポルトランドセメントの原料】

表 3-7 ポルトランドセメントの主要原料(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	備 考
石灰質原料 (80%)	CaO (60~66%)	約 1130kg	一般に CaCO ₃ として 95% 以上の良質のものを使用される。
粘土質原料 (20%)	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。
	SiO ₂ (補充)	約 50kg	粘土中の SiO ₂ が不足するときに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。
	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、錳からみ、バーライトシンダー等。
	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、化学石膏・天然石膏。



【ポルトランドセメントの製造方法】



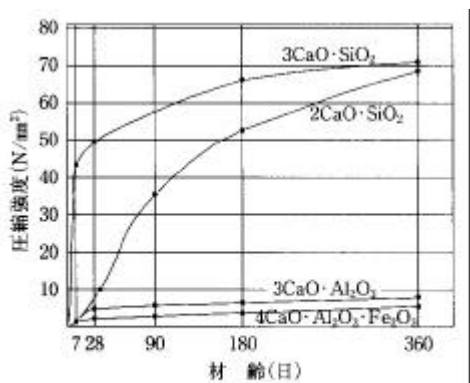
【ポルトランドセメントの組成化合物】

主な化学成分 CaO、SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、SO₃

表 2-1 セメントの組成化合物とその特性

名 称	エーライト (Alite)	ビーライト (Belite)	固相物質	
	Alite	Belite	アルミネート相	フェライト相
主成分	けい酸三カルシウム	けい酸二カルシウム	アルミニウム三カルシウム	鉄アルミニウム四カルシウム
記号*	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
密度 (g/cm ³)	3.13	3.28	3.00	3.37
強度発現 ⁽¹⁾ (相対的比較)	初期 (材齢 1 日程度)	中	小	大
	中期 (材齢 3~28 日)	大	中	小
	長期 (材齢 28 日以上)	中	大	小
水熱熱 ⁽²⁾ (cal/g)	120	62	267~320	100
化学収縮係 ⁽³⁾ (相対的比較)	中	大	小	大
乾燥収縮 ⁽⁴⁾ (×10 ⁻⁴) (乾燥分収縮係)	46~79	77~105	233~322	167~189

*: C=CaO, S=SiO₂, A=Al₂O₃, F=Fe₂O₃



【ポルトランドセメントの水和反応】

エーライト (C₃S)

$$2C_3S + 6H_2O \rightarrow C_3S_2H_3 + 3Ca(OH)_2$$

エーライト + 水 → C-S-H + 水酸化カルシウム

けい酸カルシウム水和物 C-S-H 強度発現に影響大
水酸化カルシウム C-S-Hの硬化を促進
コンクリートをアルカリに保つ

ビーライト (C₂S)

$$2C_2S + 4H_2O \rightarrow C_2S_2H_3 + Ca(OH)_2$$

ビーライト + 水 → C-S-H + 水酸化カルシウム

エーライトに比べ、水酸化カルシウムの生成量が少ないので、C-S-Hの硬化が遅れる。

アルミネート相 (C₃A)

単独で水和すると、高い反応熱を発生し、急結する。そこで、石膏が入ると、急結が緩和される

$$C_3A + 3CaSO_4 + 32H_2O \rightarrow C_6A_3S_3H_{32}$$

アルミネート + 無水せっこう + 水 → エトリンガイト

石膏が消費されると

$$2C_3A + C_6A_3S_3H_{32} + 4H_2O \rightarrow 3C_4ASH_{12}$$

アルミネート + エトリンガイト + 水 → モノサルフェート水和物

この反応は、初期に起こるので、凝結強度に影響あり

注 エトリンガイト: 3CaO·Al₂O₃·3CaSO₄·32H₂O

フェライト相 (C₄AF)

単独では、急結する。石膏との共存により急結が抑制される。

$$C_4AF + 2Ca(OH)_2 + 10H_2O \rightarrow C_3AH_6 - C_3FH_6$$

フェライト + 水酸化カルシウム + 水 → C₃AH₆-C₃FH₆ 固溶体

凝結・強度にほとんど影響なし

ポルトランドセメントの品質

セメントの化学的性質

強熱減量 (g. loss) :セメントを900~1000 で強熱したときの質量減少量
 風化 貯蔵中のセメントが空気中の水分や二酸化炭素を吸収し、軽微な水和反応を起こすこと。
 風化したセメントは強熱減量が大い。

酸化マグネシウム (MgO) :
 MgOは石灰岩の不純物として、セメント中に混入する。
 含有量が多いと、膨張ひび割れを起こす。

MgOが多いほど 比重が大、長期強度が低、水和熱が大
 セメントの緑色が強 (少ないと黄色が強)

三酸化硫黄 (SO₃)
 石こうの成分として存在する。
 SO₃が多いほど、早期強度が高く 収縮が小さい。

アルカリ (R₂O)
 セメント中の酸化ナトリウム (Na₂O) と酸化カリウム (K₂O)
 Na₂O+0.658 K₂O
 R₂O
 アルカリ骨材反応との関連
 低アルカリ形ポルトランドセメント 0.6%以下

セメントの物理的性質

密度
 ポルトランドセメントの密度は、3.14~3.17g/cm₃程度

普通ポルトランドセメントの比重 :3.15g/cm₃

比表面積 :セメントgあたりの粒子の全表面積を表す。
 粉末度と同じ
 比表面積が大 セメントの凝結は早く
 水和熱が高く、
 初期の強度発現が大い。

ポルトランドセメントの凝結時間

規格値	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
初発 (min)	60 以後	45 以後	45 以後	60 以後	90 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)	2-31	2-25	1-46	3-54	2-42
	3-45	4-44	3-10	4-23	4-32

凝結 :セメントが水和反応によって流動性を失い、固化する現象
 始発 加水後、流動性を失い始める時点
 終結 流動性が失われてしまった時点

ポルトランドセメントの凝結時間

規格値	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
初発 (min)	60 以後	45 以後	45 以後	60 以後	90 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)	2-31	2-25	1-46	3-54	2-42
	3-45	4-44	3-10	4-23	4-32

- ・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。
- ・C₃A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。

安定性 :セメントの凝結硬化過程において、異常な形状変化が生じないこと。
 セメント中に遊離したCaO、SO₃やMgOが過剰に存在すると、膨張ひび割れや異常な形状変化を生じる。

強さ :化合物組成、石こう含有量、比表面積により変化する。
 モルタル (セメント標準砂 = 1:3、W/C = 0.5) の強さにより表す。

表3-11 ポルトランドセメントの強さ規格と実際強さ

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

水和熱 :セメントに加水した時点から所定の材齢までの間に発生した熱量の総和
 ・セメントの水和反応は、発熱反応である。
 熱量は、化合物組成 と比表面積により定まる。

セメントの種類と用途

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%

早強ポルトランドセメント
 普通セメントよりC₃Sの含有量を多く、C₂Sを少なくすると共に粉末度を高くしたもので、初期強度の発現性に優れる。
 普通セメントの材齢3日、7日における強度を1日、3日で発現する。
 緊急工事、寒冷期の工事中、コンクリー 構品

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。C₃SとC₃Aの含有量を制限し、C₂Sをかなり多くしたもので、乾燥収縮が小さい。ダム、大規模橋脚工事

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水和熱の低いセメント。
 C₂Sを増やし、C₃Aを減らしたもので、大型構造物に適用

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で、C₃A含有量を4%以下に制限し、C₄AFを多くしてある。また、強度発現速度を補うため、C₃Sを多くしてある。

低アルカリ形ポルトランドセメント
 全アルカリ量R₂Oを0.6%以下としたセメント。アルカリ量が0.6%であれば、たとえ反応性骨材を用いてもアルカリ骨材反応は起こらない。

混合セメント

ポルトランドセメントに混合材を加えたセメント

混合材 高炉スラグ、フライアッシュ、シリカ

混合セメントの特徴

- ・混合材は、それ自体では水硬性がなく、セメントと共存することによって反応する。
- ・早期の強度は低い、長期強度はポルトランドセメントと同程度かそれ以上となる
- ・水和熱が低い
- ・化学抵抗性が高い (Ca(OH)₂が少ないため)