4. セメント

(0) セメントとは

コンクリート中に配合され、硬化して強度を発現する材料。

(1) 歴史

・原形は石造建造物の間隙を充填する粘結材。石灰、火山灰などが使用。

→　例えばピラミッド。

・近代では、1824年英国のJ. Aspdinがportland cementを発明。

粉砕した石灰石＋粘土　→　混合　→　水に混ぜてスラリー状（ドロドロ）　→

窯で焼く　→　冷却　→　粉砕（粉々）　→　セメント

・セメントは暗緑色だが硬化するとねずみ色。これが英国のPortland島で採れる石灰石の色に似ているのでネーミングしたら大ヒットとなった。

・日本への伝来：幕末に輸入。製造開始は明治初期。当時は「摂綿篤」と記す。

最初は官営事業　→　民営化　→　浅野総一郎(M17)　深川セメント工場。

これが現在の太平洋セメント（旧日本セメント）の前身。

(2) セメントの種類

- すべてJISに規定されている（JIS R 5210）。ポルトランドセメントとしては、
- 普通ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄ（ordinary, OPC）　最も一般的。全生産量の70%。一般用。
- 早強ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄ（high early strength）1週間でOPCの4週強度。PC、製品用。
- 超早強ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄ（super high early strength）　1日で強度発現。緊急工事用。
- 中庸熱ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄ（moderate heat）　水和熱が少ない。長期強度が大きい。ﾏｽｺﾝｸﾘｰﾄ用。
- 低熱ポルトランドセメント（low heat）　さらに水和熱が少ない。長期強度が大きい。ﾏｽｺﾝｸﾘｰﾄ用。高強度、高流動ｺﾝｸﾘｰﾄ用。
- 耐硫酸塩ポルトランドセメント（sulfate-resisting）　硫酸塩に対する抵抗性が大きい。下水、工場排水、海水にも抵抗性が大きい。耐久性が大きい。

普通

早強

超早強

中庸熱

低熱

セメント協会ホームページから

・混合セメントとしては、

・高炉セメント（blast-furnace slag cement） 高炉から出るスラグ微粉末をセメントの混合材にしたもの。初期強度は小さく低温時は不利。しかし、長期強度は大きく、水和熱も小さい。スラグの混合材分量が小さいほうからA, B, C種に区分。スラグは鉄鉱石の中の岩石質の部分が溶けて硬化したもの。

・フライアッシュセメント(fly ash cement) 火力発電所の微粉炭燃焼ボイラーの廃ガス中から集塵された灰の微粒子をセメントの混合材にしたもの。ワーカビリティーが良い。初期強度は小さいが長期強度が大きい。水和熱が小さい。フライアッシュの混合材分量が小さいほうからA, B, C種に区分。

・特殊セメントとしては、

・膨張セメント(expansive cement) 膨張材として供給。ひび割れ制御。収縮補償。ケミカルプレストレスの導入。

・超速硬セメント（special super high early strength ）2~3時間で強度発現。緊急工事用。

(3) 製造方法

・原材料　石灰石（主成分：炭酸カルシウム　$CaCO_3$）
粘土（シリカ質SiO_2、アルミナ質Al_2O_3、酸化鉄Fe_2O_3などを含む）
石膏（せっこう、$CaSO_4$、セメントの凝結時間調整用）など

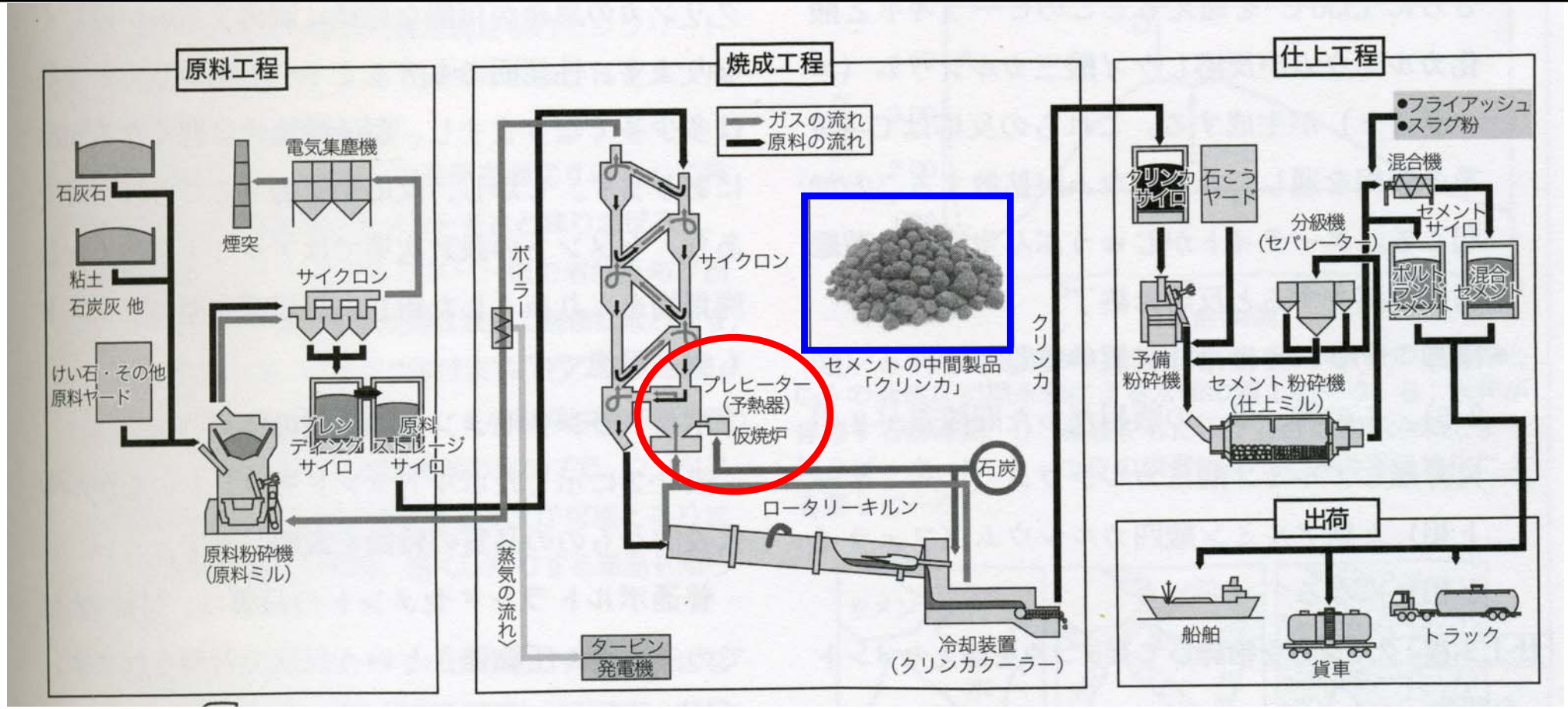
・製造方法　基本的にAspdinの方法と同じ。湿式法と乾式法がある。

【乾式】 原料を混合 → 乾燥 → 粉砕 → 窯で焼成 → 冷却 → セメントクリンカの生成 → 石膏の添加 → 微粉砕

【湿式】 原料を混合 → 水を加えてスラリー状にして粉砕 → 窯で焼成 → 冷却 → セメントクリンカの生成 → 石膏の添加 → 微粉砕

・湿式は原料の混合や粉砕が容易で均質だが、乾式はスラリーを用いない分、熱効率がよい。現在は乾式が主流。

・粉砕された原料を焼成・冷却する円筒形の回転窯（ロータリーキルン）のことをサスペンションプレヒーターキルンという。原料は直接ロータリーキルンに送られるのではなく、ではなく、プレヒーターを通過してから送られる。熱効率が良い。ロータリーキルンに送られた原料は、1,450℃以上の高温で焼成される。



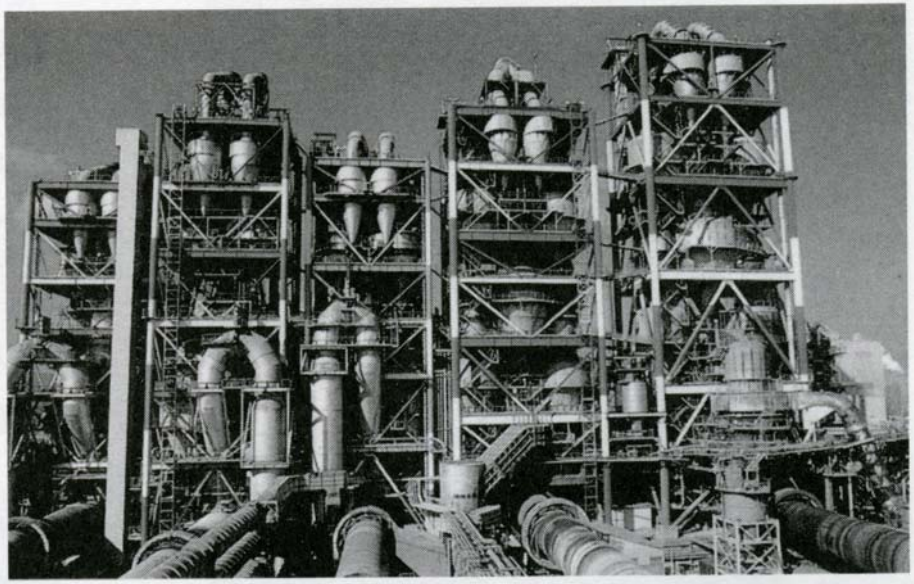


図 2·3　焼成タワーとロータリーキルン（提供：セメント協会）

セメントの製造過程

焼成タワーとロータリーキルン

(4) セメントの化学成分

・セメントの主成分は次の4種の化合物。

C_3S （$3CaO \cdot SiO_2$）： ケイ酸3カルシウム （エーライト）

C_2S （$2CaO \cdot SiO_2$）： ケイ酸2カルシウム （ビーライト）

C_3A （$3CaO \cdot Al_2O_3$）： アルミン酸3カルシウム （アルミネート相）

C_4AF （$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$）： 鉄アルミン酸4カルシウム （フェライト相）

CaO (C)は石灰石に、S, A, F は粘土などに由来する。

・C_3Aについて

水と反応して極めて短期間に強度を発現する。したがって、その分、水和による発熱も大きい。乾燥収縮量も大きい。 ⇒ コンクリートの温度ひび割れの原因となる。したがって、セメント中に含まれる量を適切に調整することが重要となる。

(5) セメントの一般的性質

・セメントが水と接する。4種の化合物（C_3S、C_2S、C_3A、C_4AF）が水と化学反応する。これを水和（hydration）という。

・C_3SやC_2Sの水和

水和により、C-S-H系の化合物（トベルモライト、$CaO\text{-}SiO_2\text{-}H_2O$系の化合物）と水酸化カルシウム（$Ca(OH)_2$）を生成する。

・最も基本となるセメント水和物。硬化したコンクリート中には水酸化カルシウムが存在。