

Q セメントはどのようにして固まり、強度を発現するのですか？

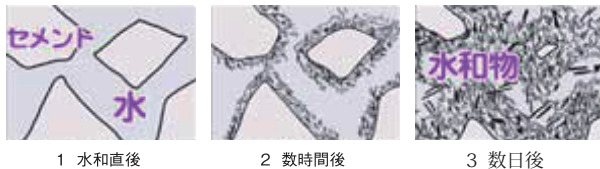
A 水とセメントが反応し、新たな微細粒子が析出してセメント粒子間を埋めていき、析出粒子の接合面積が増加して固まり、強度を発現するからです。

セメントに水を加えて練り混ぜたペーストは、2~3時間で凝結をむかえ、流動性を失った変形できない状態になります。強度は1日以降に発現しはじめ、3か月後には最終に近い強度を発現します(硬化過程)。

この間の色調変化は、セメントに水を加えた段階や凝結段階ではセメントより濃い灰色を示しますが、硬化過程が進むにつれて白くなり、最終的には最初のセメントの色よりさらに白い、灰白色になります。このような色調変化から、多くの人は、セメントの固まる過程を焼物の粘土が、水分を失って固まることと同じように「乾く」と考えます。

粘土は水分が蒸発すると、乾燥して固まりますが、再び水を加えると粒子は互いに離れ、容易に変形できます。一方、硬化したセメントはもとには戻りません。

硬化過程 (セメント協会「セメントの常識」より)



！ 溶解析出反応

セメントの硬化過程を考える前に、生石灰(CaO)の消化反応について説明しましょう。

生石灰に水を加えると、水にカルシウムが勢いよく溶け、その溶解速度が速いため、溶液が過飽和状態になり、消石灰(Ca(OH)2)が析出しはじめます。そして、析出した粒子同士は結合し、硬化体を形成します。

このような反応を溶解析出反応といいます。析出したCa(OH)2粒子は数μmと大きいので、粒子同士の接合面積が大きく、容易にほぐすことができず強度も低くなります。

セメントの反応は、生石灰と同様に溶解析出反応の一種です。鉱物としてのセメントは、カルシウム(Ca)、珪素(Si)、アルミニウム(Al)、鉄(Fe)などの元素で構成されていますが、水と接すると、まずCaのイオンが溶け出し、水溶液中のCaイオンが増加します。岩石の主成分である珪酸(SiO2)、アルミナ(Al2O3)は、天然では、それぞれのイオンが互いに重なりあつた安定な物質(ポリマー)として存在し、Caイオンと容易に反応する物質ではありません。

しかし、セメント鉱物の中では、珪酸イオンおよびアルミナのイオン(アルミネートイオン)は比較的反応し易い単量体(モノマー)で存在し、回りのCaイオンが溶脱したことにより、溶液中に溶け出します。これらのイオンがCaイオンや水分子と反応して、水に溶けにくいセメント水和物(C-S-H、エトリンガイト)を生成し、余ったCaイオンはCa(OH)2として析出されます。水和物粒子は互いに結びつき、徐々にセメントペーストの流動性を低下させて、さらに時間が経過するとセメント粒子間の空隙を水和物が充填して硬化が始まります。

粒子間の結合は、分子間引力や水素結合などで保持されていると考えられていますが、C-S-HはCa(OH)2と違い、0.1μm以下の微細な結晶であり、単位体積当たりの粒子同士の接合面積が著しく大きいので、高い結合力を発揮し、硬化体の強度を発現します。

生成した水和物は微細であるため、進入する光の乱反射の頻度が増加します。この増加により色合は白ぼっくなり、コンクリートが乾いたようにも見えるのです。



！ 空隙の充填

コンクリートの強度は、セメントの反応の程度に左右されると考えがちですが、水が存在する部分(セメント粒子間の空隙)を水和物が充填している程度が重要となります。水とセメントの重量比は「水セメント比」と呼ばれ、通常のコンクリートの配合では、0.4~0.6の範囲で使用されています。

たとえば、水セメント比が0.4の場合、重量では水0.4に対してセメント1で、セメントが多いように思えます。しかし、体積で比較すると0.4対0.32となり、セメントペースト中の55%の体積を水が占めているので、残りの45%がセメントとなります。

この場合、コンクリートが強度を発現するためには、最初に水があつた55%の空間を析出したセメント水和物が充填する必要があります。つまり、混練する水の量を少なくするほど、セメント水和物が充填する空間が少なくてすむので、コンクリートの初期および長期強度は高くなるのです。

一方、水量の少ないコンクリートは、施工する場合の流動性が低いという欠点もあるので、これら相互の関係からコンクリートの配合は決定されています。

