

高炉スラグ微粉末の 不思議



1990年代の始め、凝結遅延の少ないポリカルボン酸系高性能減水剤を開発することが出来たので、コンクリート製品を自己充填コンクリートで作ろうと、セメントと様々な微粉末を何種類も集めてコンクリートの配合実験を行いました。

色々と試行した結果、蒸気養生における初期脱型時強度の確保、流動性（自己充填性）、及び硬化コンクリート肌の美しさを満足させる粉体は、意外にも高炉スラグ微粉末でした。そこで、一番手軽な方法として、普通セメントに替えて高炉セメントB種を使ってみることにし、思いきって、コンクリート製品工場の実機プラントでL型擁壁を作りました。午後遅くコンクリートを練り上げ、型枠に自己充填（微振動だけ使用）し、蒸気養生後、翌朝脱型してL型擁壁の仕上がり状態をドキドキしながら

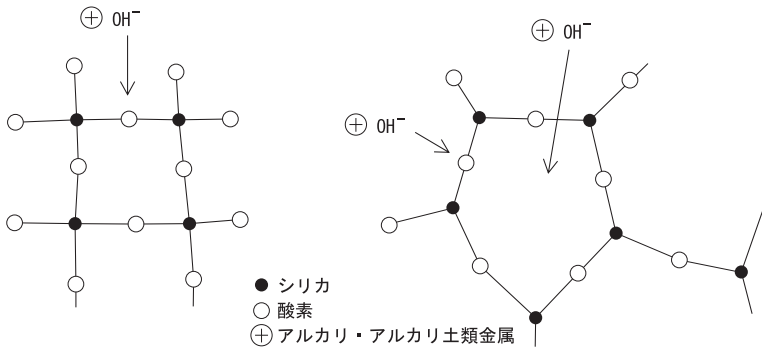
ら皆でチェックしました。嬉しいことに、気泡も少なく美しいコンクリート表面の製品が出来上がり（写真参照）、以後の実用化が大きく進みました。

高炉スラグ微粉末が混和されたコンクリートは、普通セメントを使用したコンクリートに比較して高性能減水剤の減水効果が良く、蒸気養生においては初期強度発現も遜色の無い結果が得られます。では、潜在水硬性をもつ高炉スラグは、どのように反応するのでしょうか。



高炉スラグ微粉末の平均的な化学成分は、 $\text{SiO}_2 = 33\%$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 = 14\%$ 、 $\text{CaO} = 42\%$ 、 $\text{MgO} = 6\%$ 、 $\text{TiO}_2 = 1\%$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0.5\%$ 程度であり、普通ポルトランドセメントに比較して CaO が少なく、 SiO_2 と Al_2O_3 が各々10%程多くなっています。また、水冷による急速冷却で、非晶質のガラス状態の鉱物となっています。

硅石のようにSiとOの結晶構造が強固であると、アルカリ溶液中でも簡単には溶解しませんが、高炉スラグ微粉末はSiとOの構造に隙間のある網目構造であり、アルカリ溶液中で、OHの侵入が容易となり、網目構造が破壊されて水和反応が始まると考えられています¹⁾。この水



けい石等の結晶性シリカへのアルカリのアタック

急冷高炉スラグ等の非晶質シリカへのアルカリのアタック

高炉スラグ微粉末の不思議

和反応は、高温では特に加速されるようで、蒸気養生では初期強度も高くなります。

高炉スラグ微粉末を使用するとき常に考慮しておかなければならない事があります。

それは、高炉スラグ微粉末のポルトランドセメントへの置換率が大きくなると、コンクリート硬化時の自己収縮が大きくなること²⁾、及びクリープ係数が小さくなることです³⁾。引張応力を受けたときのコンクリートの伸び能力が小さくなっているとも考えられ、大きなコンクリート構造物では、収縮ひび割れの発生原因ともなります。

コンクリート用高炉スラグ微粉末は、JIS A 6206 に規定されており、粉末度の違いにより、以下の表に示される 3 種類について品質規格が定められています。粉末度が細くなる（比表面積が大きくなる）程、減水剤使用時のコンクリート流動性が良好で、また、初期強度及び長期強度も大きくなります。

表1 高炉スラグ微粉末の品質

品質		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
密度	g/cm ³	2.80以上	2.80以上	2.80以上
比表面積	cm ² /g	3000以上 5000未満	5000以上 7000未満	7000以上 10000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	90以上	85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してもよい。

コンクリート+ 1

- 1 活性度指数:各材齢の活性度指数は、次の式によって算出し、その数値は、JIS Z 8401によって整数に丸める。

$$A_s = \frac{c_2}{c_1} \times 100 \quad \text{ここに、} A_s: \text{活性度指数}(\%)$$

c_1 :各材齢における基準モルタルの圧縮強度(N/mm²)
 c_2 :各材齢における試験モルタルの圧縮強度(N/mm²)

- 2 フロー値比:フロー値比は、次の式によって算出し、その数値は、JIS Z 8401によって整数に丸める。

$$F = \frac{l_2}{l_1} \times 100 \quad \text{ここに、} F: \text{フロー値比}(\%) \quad l_2: \text{試験モルタルのフロー値}$$

l_1 :基準モルタルのフロー値

モルタルの配合:モルタルの配合は、附属書表1による。

附属書表1 モルタルの配合				単位g
モルタルの種類	セメント	試料	細骨材	水
基準モルタル	450±2	—	1350±5	225±1
試験モルタル	225±1	225±1		

参考 附属書表1は、1バッチ分の練混ぜ量を示したもので、断面40mm平方、長さ160mmの角柱供試体3個分又はフロー試験2回分のモルタル量に相当する。

高炉スラグ微粉末は、高強度コンクリート及び高流動コンクリート用混和材として非常に有効な材料と言えます。

参考文献

- 1) 笠井芳夫・坂井悦郎編著：新セメント・コンクリート用混和材料、技術書院、pp.29-30 (2007)
- 2) 檀康弘、伊代田岳史：マスコンクリートのひび割れ制御方法とその効果に関するシンポジウム論文集、(社)日本コンクリート工学協会、pp.7-12 (2005)
- 3) 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針：土木学会、pp.101-103 (1996)