



いまさら聞けない規格のはなし/その18

JIS R 5211 高炉セメント

1. 高炉セメントとは

高炉セメントとは、「ポルトランドセメント及び高炉スラグ」または「クリンカー、せっこう、少量混合成分及び高炉スラグ」で構成されるセメントと JIS R 5211 に定義されています。また、高炉スラグの分量ごとにA種、B種、C種の3種類が規定されており(表-1)、セメント品質はそれぞれ表-2の通りに定められています。表-2からスラグ分量が増えるにつれて3d、7dの圧縮強さ下限値が低く設定されており、A種は普通ポルトランドセメントと同一の値となっていることが分かります。

表-1 高炉セメントの種類および高炉スラグの分量

種類	高炉スラグの分量 (質量%)
A種	5を超え 30以下
B種	30を超え 60以下
C種	60を超え 70以下

表-2 高炉セメントおよび普通ポルトランドセメントの品質

品質	高炉セメント			普通ポルトランドセメント
	A種	B種	C種	
密度 (g/cm ³)	—	—	—	—
比表面積 (cm ² /g)	3000以上	3000以上	3300以上	2500以上
凝結	始発 (min)	60以上	60以上	60以上
	終結 (h)	10以下	10以下	10以下
安定性	パット法	良	良	良
	ルシャテリ工法 (mm)	10以下	10以下	10以下
圧縮強さ (N/mm ²)	3d	12.5以上	10.0以上	12.5以上
	7d	22.5以上	17.5以上	22.5以上
	28d	42.5以上	42.5以上	42.5以上
化学成分 (%)	酸化マグネシウム	5.0以下	6.0以下	5.0以下
	三酸化硫黄	3.5以下	4.0以下	3.5以下
	強熱減量	5.0以下	5.0以下	5.0以下

高炉スラグとは製鉄プロセス中の“高炉”という設備で回収される副産物のことです。高炉では酸化鉄を主成分とする鉄鉱石をコークスによって還元し、石灰石によって不純物を除去することで鉄鉄と呼ばれる鋼の原料を得ます。高炉スラグは鉄鉱石中のSiO₂、Al₂O₃といった不純物やコークス中の灰分と石灰石が反応し結合することで生成します¹⁾。従って、高炉スラグは主にCaO、SiO₂、Al₂O₃を含む組成となっています。高炉セメントには高炉から取り出された溶融状態のスラグを水によって急冷することで反応性を高めた“高炉水砕スラグ”を用いることがJISに規定されています。また、塩基度と呼ばれる高炉スラグの反応性を示す指標が1.60以上と定められています。塩基度は式(1)で表されます。

$$\text{塩基度} = (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3) / \text{SiO}_2 \quad (1)$$

2. 高炉セメントの特徴

高炉スラグはアルカリ類と共存することで、水和して硬化する“潜在水硬性”と呼ばれる性質を持っています。アルカリ類はスラグの構造からCaOやSiO₂を溶出させる作用があり、これらの溶出成分が反応して水和物を形成します。さらに、スラグから溶出したCaOやMgO、Al₂O₃自体もアルカリ性であるため、アルカリ環境を保ちながら反応が継続されていきます。従って、スラグ中のCaO、MgO、Al₂O₃含有量が多いと一般的に反応性が高くなり、これは先述の塩基度の式と対応しています。

高炉セメントは、高炉スラグが徐々に反応し水和することで、緻密な組織が形成されます。そのため普通ポルトランドセメントと比較して初期強度が低い一方で、長期強度が高く水和熱も低い特徴を持っています。こうした特徴から高炉セメントはダムや橋脚などのマスコンク

リート用セメントとして使われてきました。また、高炉セメントは水和物に塩化物を固定する性質と、緻密な組織であることから塩化物イオンの拡散を抑制する性質を有するため、塩害への抵抗性に優れており海岸構造物にも多く使用されています。もう一つの代表的な特徴としてアルカリシリカ反応の抑制効果に優れていることが挙げられます。これは緻密な組織のためアルカリイオンの拡散や水分の移動が抑制されることや、アルカリ性のCa(OH)₂がスラグとの反応で消費されることが要因と考えられています²⁾。JIS A 5308(レディーミクストコンクリート)の附属書Bには、アルカリシリカ反応の抑制方法の一つとして高炉スラグの分量が40%以上の高炉セメントを使用することが規定されています。

3. 規格の変遷

高炉スラグは八幡製鉄所にて1913年に日本で初めて工業的に製造され、1925年に国内で初めての高炉セメントを規定する規格ができました。当時の高炉セメントは「高炉スラグ70%とクリンカーを混合粉碎したもの」と定義されています。後の1950年に高炉セメントの規格がJISに制定され「ポルトランドセメントクリンカーの分量が重量で高炉セメントの30%以上」と定められています。少し分かりづらい表現ですが、つまりは石膏等を含めて70%以下までのスラグ分量が許容されていました。また、以前までは規定のなかった高炉スラグの塩基度がこのときに初めて定められましたが、現在とは式が異なり、塩基度=CaO/SiO₂≥1とされていました。1955年には塩基度の式がドイツ規格に採用されていた現行の式(CaO+MgO+Al₂O₃)/SiO₂に改定され⁴⁾、その値は1.4以上と定められました。

1950年代から高炉セメントのスラグ分量が多様化していきました。従来、スラグ分量が35~40%であることが一般的でしたが、化学抵抗性や低水和熱といったスラグ由来の性質を重視

した分量が70%程度のスラグ高含有セメントや、反対に分量を30%以下にして初期強さを重視した低スラグ含有セメントが製造され始めました⁴⁾⁵⁾。こうしたスラグ分量の異なる高炉セメントはそれぞれ性質が大きく異なるため、一律に品質を規定することは困難でした。そこで、1960年のJIS改定にてスラグ分量に応じてA種、B種、C種の3種類を設け、それぞれの品質が規定されることとなりました。それ以降は、1979年に少量混合成分の混合が認められた際にA種の範囲が「30以下」から「5を超え30以下」に変わったことを除き、現在までスラグ分量による品種区分の改定はされていません。

2009年には普通および早強ポルトランドセメントの強熱減量の上限值が3.0%から5.0%に引き上げられたことに伴って、高炉セメントA種、B種、C種すべてにおいて強熱減量の上限值が3.0%から5.0%に引き上げられました。この改定の理由は少量混合成分として石灰石を5.0%使用した場合に強熱減量が3.0%を超えてしまう可能性があったためとしています。また、この改定に併せてJIS A 6206に規定されるコンクリート用高炉スラグ微粉末も高炉スラグとして使用できるようになりました。これによってJIS A 6206と塩基度を

統一するために塩基度の規定は1.60以上に変更されました⁶⁾。

太平洋セメント株式会社中央研究所
セメント・コンクリート研究部海外技術チーム
尾崎 怜至

【参考文献】

- 1) 鉄鋼スラグ協会：環境資材鉄鋼スラグ, 2019
- 2) 鉄鋼スラグ協会：鉄鋼スラグの高炉セメントへの利用, 2018
- 3) 鉄鋼スラグ協会：高炉セメント百年史, 2010
- 4) 社団法人日本セメント技術協会 平野生三郎：セメント規格の変遷II ポルトランドセメント規格(II), 1963
- 5) 社団法人日本セメント技術協会：日本工業規格JISセメント解説(改定第2版), 1967
- 6) 一般社団法人セメント協会：セメント規格がわかる本-JIS解説書-JIS R 5212:2009, JIS R 5211:2009, JIS R 5212:2009, JIS R 5213:2009, JIS R 5214:2009, - [セメントの品質規格] 編-, 2010

表-3 主な高炉セメント規格の変遷(参考文献3をもとに作成)

西暦	高炉スラグ分量(%)	高炉スラグ塩基度
1925	70	-
1927	約70以下	-
1950	同上	CaO/SiO ₂ ≥1
1955	同上	(CaO+MgO+Al ₂ O ₃) ≥1.4
1960	A種≤30 30<B種≤60 60<C種≤70	同上
1979	5<A種≤30 30<B種≤60 60<C種≤70	同上
2009	同上	(CaO+MgO+Al ₂ O ₃) ≥1.60