

高炉スラグ微粉末の高強度コンクリート製品への適用に関するモルタル実験

九州高圧コンクリート工業(株) 正会員 ○ 船本憲治 九州高圧コンクリート工業(株) 古賀智博
九州高圧コンクリート工業(株) 藤 祐介 九州高圧コンクリート工業(株) 井上嘉雄
花王(株) 峯下政一 三京化成(株) 井上和治

1. はじめに

高強度コンクリート製品の製造方法は、常圧蒸気養生後にオートクレーブ（以下、AC と略記）養生を行う方法と、高強度混和材を用いて常圧蒸気養生のみで行う方法があり、製造原価の低減や製品納期の制約等により両者を使い分けている場合が多い。一方、高炉スラグ微粉末は、JIS A 6206 により比表面積 4000,6000,8000 の 3 種類の規格が規定されているが、現状では、高強度混和材として比表面積 6000 の利用が望まれており、高炉スラグ微粉末 6000 のコンクリートにおける流動性改善効果、常圧蒸気養生及び AC 養生下でのコンクリートの強度発現性状等を把握しておくことは重要である。

そこで、本研究では、高炉スラグ微粉末の高強度コンクリート製品への適用を目的とし、まず、モルタルにおける実験を行い、高炉スラグ微粉末 6000 混入モルタルのフレッシュ性状及び圧縮強度特性を明らかにした。

2. 使用材料

セメント及び高炉スラグ微粉末の品質を表-1 に示す。セメントは、普通ポルトランドセメント(NPC)を使用し、比較用として、高炉セメント B 種(BB)を用いた。高炉スラグ微粉末(BFS)は、比表面積が 6,170cm²/g であり、JIS A 6206 の BFS6000 規格を満足している。また、無水石膏は、SO₃ 56.5% , CaO 41.3% , PH7 , 比表面積 3,340cm²/g を用いた。

細骨材は、細砂（絶乾密度 2.60g/cm³・吸水率 0.6%・粗粒率 1.40）と砕砂（絶乾密度 2.81g/cm³・吸水率 0.2%・粒形判定実績率 56.3%・粗粒率 4.04）を 6：4 の質量比で混合したものを用いた。

3. モルタル実験の概要

3.1 実験項目

モルタル実験は、日本建築学会の JASS 5T-701-2005「高強度コンクリート用セメントの品質基準」に準じ、0 打刀の測定及び圧縮強度試験を行った。

3.2 配合及び練混ぜ方法

モルタルの配合を表-2 に示す。モルタルの配合は、水結合材比 30%とし、質量比で、結合材：砂：水と混和剤の合計 = 1：1.4：0.3 とした。NPC に対する BFS6000 置換率を 0,20,40%と変化させ、比較として、BB 又は無水石膏を使用した。また、混和剤はナフリン系の高性能減水剤を使用し、0 打刀が 24～27cm を目安に使用量を決定した。なお、練混ぜは、JIS R 5201 のセメントの機械練り装置によった。

3.3 0 打フロー測定

JIS R 5201 の刀試験により、刀コートを上方に取り去った時の、広がった後のモルタルの直径を 2 回測定し、0 打刀

表-1 セメント及び高炉スラグ微粉末の品質

		普通ポルトランドセメント(NPC)	高炉セメントB種(BB)	高炉スラグ微粉末(BFS)	
化学的性状	酸化マグネシウム (%)	1.32	3.04	6.1	
	三酸化硫黄 (%)	2.65	2.21	0.05	
	塩化物イオン (%)	0.015	0.008	0.005	
	強熱減量 (%)	1.52	1.4	0.01	
	全灰加 (%)	0.6	-	-	
物理的性状	密度 (g / cm ³)	3.15	3.04	2.91	
	比表面積 ブレン法 (cm ² / g)	3,750	4,010	6,170	
	フロー値比 (%)	-	-	96	
	凝結 (h - min)	始発	2-15	3-08	-
		終結	3-15	4-18	-
	安定性 ハット法	良	良	-	
	圧縮強度 (N / mm ²)	3日	34.2	24.2	-
		7日	44.4	36.5	-
		28日	60.4	63.6	-
	活性度指数 (%)	7日	-	-	82
28日		-	-	101	
91日		-	-	126	

表-2 モルタル配合

CASE		結合材				細骨材	水 + 混和剤
		NPC	BB	BFS	無水石膏		
1	N	1067	-	-	-	1493	320
2	N-BS20	853	-	214	-		
3	N-BS40	640	-	427	-		
4	BB	-	1067	-	-		
5	N-BS40-S10	533	-	427	107		

表-3 モルタル試験結果

CASE		高性能減水剤 (×B%)	刀-値 (cm)	各養生における圧縮強度 (N/mm ²)			
				初期蒸気 (1日)	初期蒸気 → AC	20 封緘 (7日)	20 封緘 (28日)
1	NPC	2.80	26.6	74.6	128.9	82.6	91.6
2	N-BS20	2.55	27.3	76.6	120.4	88.5	103.3
3	N-BS40	2.10	26.5	72.3	105.1	86.1	104.1
4	BB	2.10	24.0	55.9	103.3	83.6	98.7
5	N-BS40-S10	1.70	23.3	72.5	83.3	87.0	103.0

-値としてその平均値を採用した。

3.4 圧縮強度試験

供試体は、直径 5cm・高さ 10cm の円柱供試体を 4 個作成し、試験値は、その平均値とした。

蒸気養生は、初期蒸気養生と AC 養生の 2 ケースとし、

初期蒸気養生は、前置封緘 2 時間→昇温 2 時間→保持 3 時間（最高温度 60℃）→自然除冷、AC 養生は、

初期蒸気養生→昇圧 3 時間→保持 3 時間（最高温度 183℃・10 気圧）→降圧 3 時間とした。また、強度ポテンシャルを把握する目的で、封緘養生供試体（20℃環境）の材齢 7、28 日強度も測定した。

4. 実験結果及び考察

4.1 フレッシュ性状

珪砂のフレッシュ性状に関する試験結果を表-3 に示すとともに、混和材置換率と混和剤使用量の関係を図-1 に示す。

BFS6000 の置換率が大きくなればなるほど（NO.1→2→3）同一フローを得るための混和剤使用量は少なくなり、BFS6000 が珪砂の流動性改善に大きく寄与しており、このことは文献 1)とも一致する。

NO.4（BB）は、BFS4000 が事前にセメント工場にてプレックスされたものであり、BFS4000 置換率 45%の流動性改善効果は、ほぼ BFS6000 置換率 20%に相当している。

NO.5（無水石膏使用）は、NO.3 と殆ど変わりなく、無水石膏は流動性改善にほとんど寄与していない。

4.2 圧縮強度性状

珪砂の圧縮強度試験結果を表-3 に示すとともに、混和材置換率と圧縮強度の関係を図-2 に示す。

1) 初期蒸気養生，AC 養生の場合

BFS6000 置換率が大きくなればなるほど（NO.1→2→3）AC 養生後の強度は低下しているが、初期蒸気養生強度は殆ど低下がなく、置換率 20%までの強度発現性状は実用上問題はないと思われる。

NO.4（BB）は、特に、初期蒸気養生強度の低下が大きく、コンクリート製品の型枠脱型等に考慮が必要であると思われる。NO.5（無水石膏使用）は、最適な 3 成分の組成比が存在すると文献 2)等で指摘されているが、今回の場合、NO.3 に比べて、初期蒸気養生強度の低下はなかったが、AC 養生後の強度は大きく低下した。

2) 20℃封緘養生（材齢 7、28 日）の場合

BFS6000 置換率が大きくなるほど（NO.1→2→3）両材齢とも強度増進が図れているが、置換率 20%と 40%の差は小さかった。また、NO.4（BB）、5（無水石膏使用）でも NO.3 とほぼ同等の強度が得られた。

5. おわりに

高炉スラグ微粉末の高強度コンクリート製品への適用を目的とし、珪砂実験を行い、高炉スラグ微粉末 6000 のセメント 20%置換は、珪砂のフレッシュ性状及び強度発現性状において、良好な性状を示すことが明らかになった。

【謝辞】 高炉スラグ微粉末に関しては新日鐵高炉セメント(株)の古川部長に御協力をいただき、ここに謝意を表します。

【参考文献】 1) 土木学会：高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針，コンクリートライブラリー-86, H8.6

2) 植木康知他：高炉スラグ微粉末を使用した高強度コンクリート混和材の性状について，セメント・コンクリート論文集 No.49, pp.228 - 233, 1995

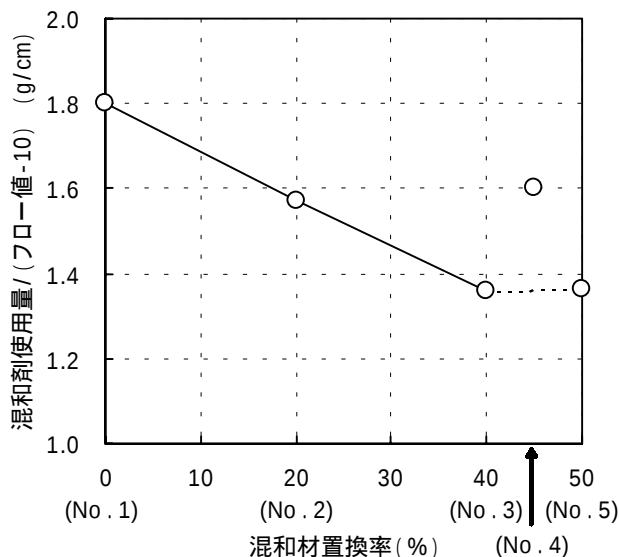


図-1 混和材置換率と混和剤使用量の関係

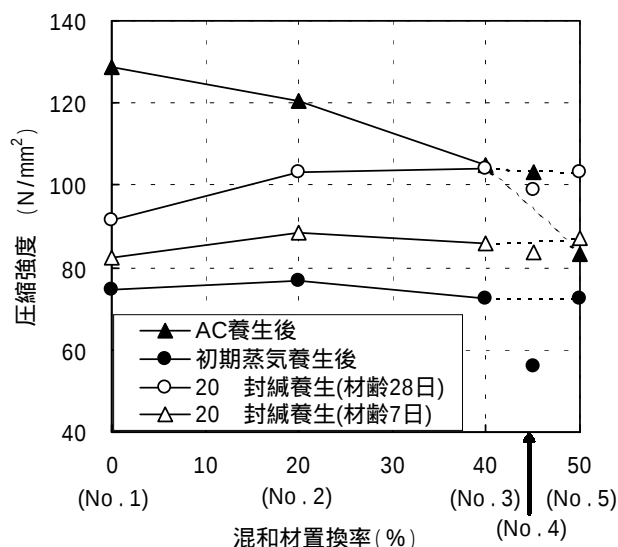


図-2 混和材置換率と圧縮強度の関係