

V-67

高炉スラグ微粉末を利用したコンクリートの諸特性

北海道開発局 開発土木研究所 正会員 堺 孝司
 日鐵セメント 研究開発部 鈴木 誠
 日本セメント 北海道支店 濱崎和幸

1. まえがき フライアッシュと高炉スラグ微粉末は、産業副産物の有効利用という観点から、セメントの原材料としてこれまで広く利用されてきた。これらをセメントに混入することによって得られる一つの特徴は、セメントの水和熱を低減させることである。発熱抑制の程度は、ベースセメントの種類およびフライアッシュあるいはスラグの特性および置換率に依存し、要求される温度規制値に応じてそれらの選択がなされている。例えば、ダム用セメントとしては主に、ベースセメントに中庸熱セメントが、また混和材に置換率20~30%のフライアッシュが用いられてきた。しかしながら、近年、種々の理由により、良質のフライアッシュの安定供給にかけりが見られるようになってきた。一方、セメント用混和材として高炉スラグ微粉末の利用が、最近著しく増加している。これは、コンクリート構造物の巨大化あるいは施工上の問題等から、要求されるセメントの性能が多様化してきたことに起因している。

本研究では、高炉スラグ微粉末を低発熱型セメントの原材料として利用することを目的に、スラグの粉末度および置換率の異なるセメントを用いたコンクリートの諸特性について検討した。

2. 実験概要 セメントは、普通および中庸熱ポルトランドセメントを用いた。セメントの物理特性を表-1に示す。また、高炉スラグおよびフライアッシュの物理特性を表-2に示す。フライアッシュの置換率は30%とし、高炉スラグは、置換率が50、60、70、80%、粉末度が3000、4000、5000、6000cm²/gとした。粗骨材および細骨材は、札内川産の碎石および砕砂を使用した。粗骨材の最大寸法は、40mmである。骨材の物理特性を表-3に示す。コンクリートの配合におけるスランプおよび空気量は、それぞれ4±1cm および 5±1%を目標とした。また、コンクリートの練り混ぜには、100 ℓの二軸強制練りミキサを用いた。

試験は、圧縮強度試験、凍結融解試験、断熱温度上昇試験、中性化促進試験、および長さ変化試験を行った。圧縮強度および凍結融解試験用供試体の各寸法は、それぞれφ15×30cmおよび10×10×40cmである。各供試体は、20℃で24時間湿空養生した後に脱型し、試験時まで20℃水中養生を行った。凍結融解試験は、材令28日まで20℃水中養生した供試体について300 サイクルまで行った。断熱温度上昇試験の供試体寸法は、φ29×25cmである。中性化試験の供試体寸法は、φ15×30cmである。供試体端面は、エポキシ樹脂を塗布した。供試体は、20℃で48時間湿空養生した後脱型し、試験材令28日まで20℃で水中養生した。試験は、二酸化炭素濃度10%、湿度60%、温度40℃の条件で行った。長さ変化試験の供試体寸法は、10×10×40cmである。供試体は、20℃で24時間湿空養生した後に脱型し、20℃水中養生した。材令7日 で供試体の長さを測定し、これを基準値とした。

3. 実験結果 図-1に、単位セメント量が300kg/m³の場合の圧縮強度に対するスラグ置換率の影響を示す。材令が3日および7日ではスラグ置換率の影響はほとんどないが、材令28日および91日ではスラグ置換率の増加と共に圧縮強度が低下している。特に、スラグ置換率80%の場合の強度発現が小さい。図-2に、単位セメント量が210kg/m³の場合の圧縮強度に対するスラグ粉末度の影響を示す。若材令ではスラグ粉末度の影響は小さいが、長期材令ではスラグ粉末度が大きくなるほど圧縮強度が大きくなる傾向を示す。また、圧縮強度に対するスラグ粉末度と置換率

表-1 セメントの物理特性

ポルトランドセメント	ブレン比表面積 (cm ² /g)	比重
普通 NP30	3140	3.16
中庸熱 MP30	3080	3.20
MP32	3220	3.20

表-2 高炉スラグおよびフライアッシュの物理特性

記号	ブレン比表面積 (cm ² /g)	比重	
高炉スラグ微粉末	S-30	2980	2.91
	S-40	4160	2.90
	S-50	5160	2.89
	S-60	6180	2.89
フライアッシュ	F	3350	2.08

表-3 骨材の物理特性

項目	粗骨材		細骨材
	40~20mm	20~5mm	
比重	2.72	2.72	2.66
吸水率 (%)	0.72	0.80	1.66
粗粒率	8.00	6.78	2.47
単位容積重量 (kg/m ³)	1530	1560	1720

の組み合わせ効果は顕著でない。

図-3に中庸熟フライアッシュセメントを用いた場合の圧縮強度に対する中庸熟スラグ

セメントを用いた場合の圧縮強度との比と材令の関係の一例を示す。

図-4に、凍結融解試験結果を示す。単位セメント量が 300 kg/m^3 の場合、スラグ置換率が80%においてもスラグ粉末度によらずほぼ90%の相対動弾性係数が得られた。

図-5に、断熱温度上昇試験結果を示す。また、図-6は、終局断熱温度上昇量に対するスラグ置換率の影響を示す。スラグ置換率の増加と共に、終局断熱温度上昇量は低下する。同図は、スラグ粉末度が実験の範囲内において終局断熱温度上昇量にほとんど影響しないことを示している。

図-7に、中性化促進試験結果を示す。試験は継続中であり、得られているデータの材令も異なる。普通セメントをベースとしたスラグセメントの場合と比較すると、中庸熟スラグセメントの場合の中性化深さは大きくなる。例えば、スラグ置換率および粉末度がそれぞれ60% および $4000\text{ cm}^2/\text{g}$ の場合、中庸熟スラグセメントを用いた場合の中性化深さは13週で普通セメントをベースとしたスラグセメントのそれより約30%大きくなっている。スラグ置換率が増加すると、中性化深さも増加している。また、スラグ置換率が同一の場合、スラグ粉末度が大きいほど中性化深さは小さくなる傾向があった。

図-8に、単位セメント量 300 kg/m^3 の場合の長さ変化試験結果を示す。コンクリートの収縮は、材令と共に増加し、スラグ置換率が大きいほど小さくなる傾向がある。本実験における質量減少率を見ると、水分逸散の観点からのスラグ置換率の影響は顕著に現われていない。今後の変化に注目したい。

以上の結果から、スラグ粉末度および置換率を適切に決定することにより、従来の中庸熟フライアッシュセメントの性能と同等以上のスラグセメントを製造できることが明らかになった。

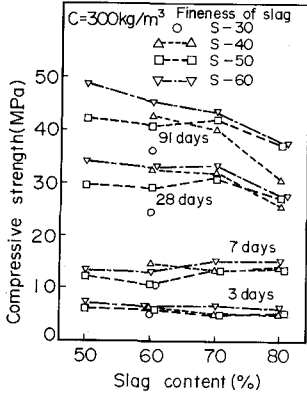


図-1 圧縮強度に対するスラグ置換率の影響

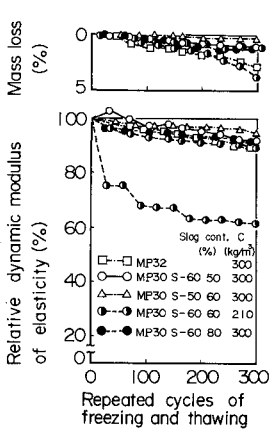


図-4 凍結融解試験結果

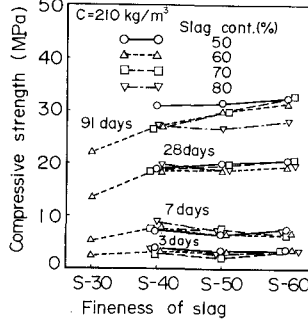


図-2 圧縮強度に対するスラグ粉末度の影響

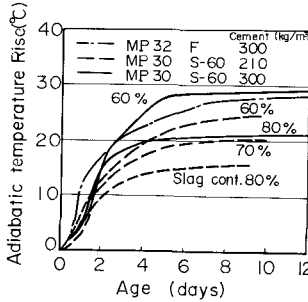


図-5 断熱温度上昇試験結果

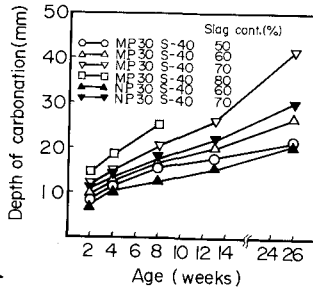


図-7 中性化促進試験結果

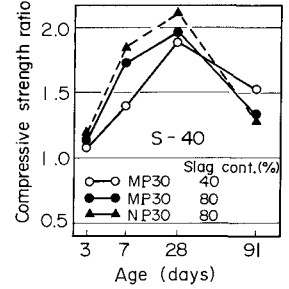


図-3 フライアッシュセメントおよびスラグセメントを用いたコンクリートの圧縮強度比と材令の関係

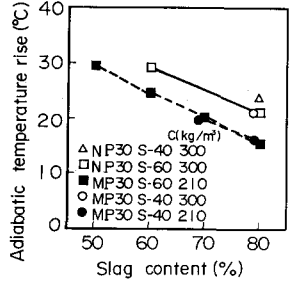


図-6 断熱温度上昇に対するスラグ置換率の影響

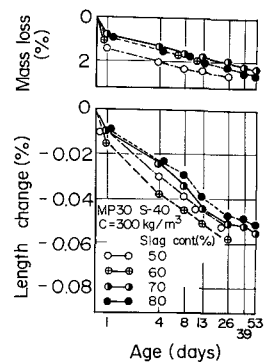


図-8 長さ変化試験結果