

マスコンクリート用高炉スラグ系低発熱セメントに関する検討

(株)宇部三菱セメント研究所 正会員 ○中里 剛

(株)宇部三菱セメント研究所 正会員 鳴瀬 浩康

1 はじめに

近年、アルカリ骨材反応対策やグリーン購入法の特定調達品目指定による影響で高炉セメントの需要が旺盛である。高炉スラグ微粉末を添加した混合セメントは、塩化物イオンの浸透に対する抵抗性が優れており、港湾構造物に適している。しかし、現在の高炉セメント B 種（以下 BB）は、発熱や強度発現が普通ポルトランドセメントに近く、自己収縮を生じるため、マスコンクリートに用いた場合に温度ひび割れを発生する危険性がある。

そこで本研究では、発熱や強度発現および収縮特性に着目し、中庸熱ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を加えた、マスコンクリート用高炉スラグ系低発熱セメント（MB）に関する検討を行った。

2 試験概要

2.1 使用材料およびコンクリートの示方配合

使用材料を表 1 に示す。本研究では、比表面積の異なる高炉スラグ微粉末および二水石膏を中庸熱ポルトランドセメントに混合し、表 2 に示す 6 種の MB を試製した。また、比較用セメントとして BB を使用した。コンクリートの主な配合条件を表 3 に示す。

2.2 試験項目

試験は、断熱温度上昇、圧縮強度、自己収縮について検討を行った。自己収縮については、断熱温度上昇測定用試験体の内部中心に $\Phi 100 \times 200 \text{ mm}$ の無応力容器と埋め込みゲージ（KM-100HB）を設置し、断熱温度上昇試験と同時に測定した。なお、自己収縮ひずみは、測定される総ひずみから、温度変化量に熱膨張係数 $10.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ を乗じたひずみを差し引いて算出した。

3 試験結果と考察

3.1 各種試験結果

断熱温度上昇定数を図 1 に示す。終局断熱温度上昇量は、高炉スラグ微粉末の置換率が増加すると小さくなり、特に、MB③では BB よりも 15°C 程度低くなった。同一置換率で比表面積を増減させても、終局断熱温度上昇量はほぼ同等で、比表面積の影響は小さかった。断熱温度上昇の速度定数は、高炉スラグ微粉末の置換率および比表面積が増大すると大きくなる傾向にあった。

自己収縮の終局値を図 2 に示す。自己収縮の終局値は、高炉スラグ微粉末の置換率が増加すると小さくなった。一方、同一置換率で比表面積を増大させると、自己収縮の終局値は大きくなり、MB⑥は BB とほぼ同等となった。

圧縮強度を図 3 に示す。高炉スラグ微粉末の置換率を増減させても、材齢 28 日までの圧縮強度に明瞭な差は認められなかった。しかし、材齢 28 日以降の強度増進は、置換率が増加するほど小さくなった。同一置換率で、比表面積を増大させると、材齢 7 日までの初期強度発現性は良好となるが、材齢 7 日以降の強度増進が比表面積 $4000 \text{ cm}^2/\text{g}$ よりも小さくなり、長期材齢での圧縮強度は低くなる傾向にあった。

表 1 使用材料

セメント	中庸熱ポルトランドセメント（密度 3.21 g/cm^3 ） 高炉セメント B 種（密度 3.04 g/cm^3 ）
高炉スラグ微粉末	①比表面積 $4000 \text{ cm}^2/\text{g}$ ②比表面積 $6000 \text{ cm}^2/\text{g}$ ③比表面積 $5000 \text{ cm}^2/\text{g}$ （①：②＝0.5：0.5）
細骨材	千葉県木更津産山砂
粗骨材	埼玉県両神産 5 号碎石、6 号碎石
混和剤	リグニンスルホン酸系 AE 減水剤

表 2 試製したセメント

記号	高炉スラグ微粉末		SO ₃ 量 (%)
	置換率 (%)	比表面積 (cm ² /g)	
MB①	40	4000	2.30
MB②	50		
MB③	60		
MB④	50	5000	
MB⑤	60		
MB⑥	40	6000	

表 3 コンクリートの主な配合条件

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)	
		C	W
50.0	44.0	300	150

キーワード：高炉スラグ微粉末、中庸熱ポルトランドセメント、断熱温度上昇、自己収縮、圧縮強度、温度ひび割れ

連絡先：〒368-8504 埼玉県秩父郡横瀬町大字横瀬 2270 番地 TEL 0494-23-7209 FAX 0494-23-7439

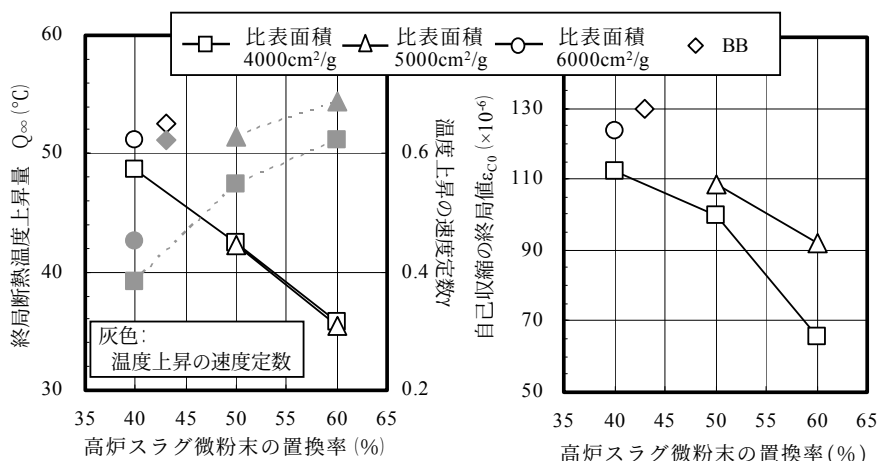


図1 断熱温度上昇定数

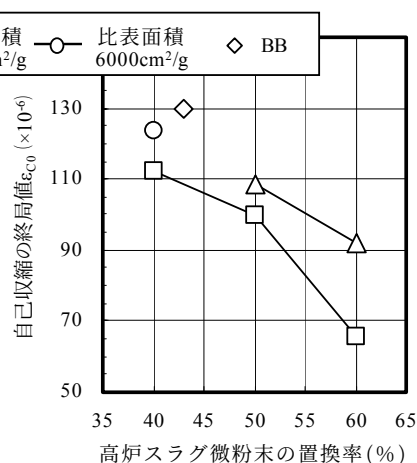


図2 自己収縮の終局値

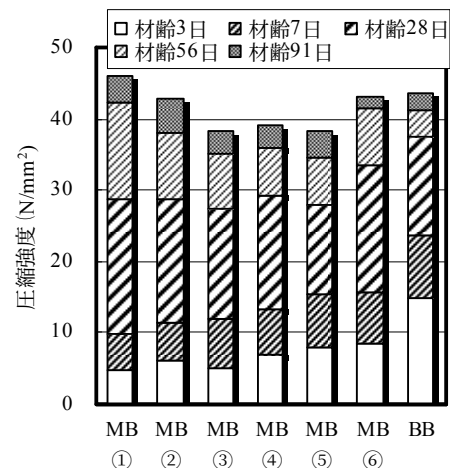
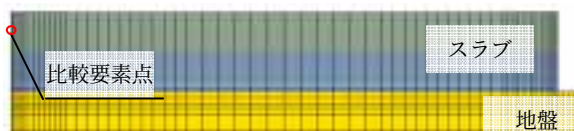


図3 圧縮強度

3.2 温度応力解析

2 リフトのスラブモデルについて2次元FEMによる温度応力解析を行った。解析モデルを図4に、主な解析条件を表4に示す。なお、断熱温度上昇、自己収縮および圧縮強度は、本研究での実測値を用いた。



*解析モデル寸法 X-Y: 10×3m (1.5m×2 リフト)

図4 解析モデル

解析結果を図5に示す。MBのひび割れ指数は、BBよりも大きくなった。これは、MBの最高温度がBBよりも低く、自己収縮が小さいため、温度応力が小さいこと、さらに、発熱に対する強度発現性がBBよりも優れていることによると考えられる。

MBでは、高炉スラグ微粉末の置換率を60%まで増大させると、最大温度応力時の引張強度はやや低くなるが、最高温度は低くなるため、温度応力が最大0.5N/mm²小さくなった。特に、MB③（高炉スラグ微粉末の置換率60%、比表面積4000cm²/g）はBBよりもひび割れ指数が0.4程度大きくなり、ひび割れの発生を抑制することができると考えられる。なお、高炉スラグ微粉末の比表面積を増大させた場合は、自己収縮が大きくなるため、ひび割れ指数は0.2程度大きくなるに止まった。

4 まとめ

中庸熱ポルトランドセメントに比表面積4000cm²/gの高炉スラグ微粉末を60%添加した高炉スラグ系低発熱セメント（MB）を適用することで、BBに比べて温度ひび割れの発生を抑制することができると考えられる。

<参考文献> 土木学会 コンクリートライブラリー：高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針、1996

表4 主な解析条件

セメント種類	MB ①	MB ②	MB ③	MB ④	MB ⑤	BB
設計基準強度	24N/mm²（配合強度：29N/mm²）					
W/C (%)	50					61.2
単位セメント量(kg/m³)	300					252
断熱温度上昇	Q	48.7	42.4	35.7	42.3	48.0
	γ	0.3840	0.5468	0.6215	0.6303	0.6879
圧縮強度 (N/mm²)	30 D・D	4.80	6.03	5.00	6.97	7.88
	210 D・D	9.90	11.5	11.9	13.4	15.5
	840 D・D	28.8	28.7	27.5	29.3	28.0
	2730 D・D	46.0	42.8	38.3	40.5	37.5
熱伝導率 (W/m²°C)	Con: 2.70、地盤: 3.45					
比熱 (kJ/kg°C)	Con: 1.15、地盤: 0.79					
密度 (kg/m³)	Con: 2400、地盤: 2650					
弾性係数 (N/mm²)	Con: $E_c=4700 \sigma_c^{0.5}$ 、地盤: $E_r=600$					
引張強度 (N/mm²)	$\sigma_t=0.44 \sigma_c^{0.5}$					
熱伝達率 (W/m²°C)	型枠面—合板型枠5日間: 8.0、以降13.0 打設面—シート養生5日間: 5.0、以降13.0					

*自己収縮の考慮あり、施工場所（打設時期）：東京（4/1～）

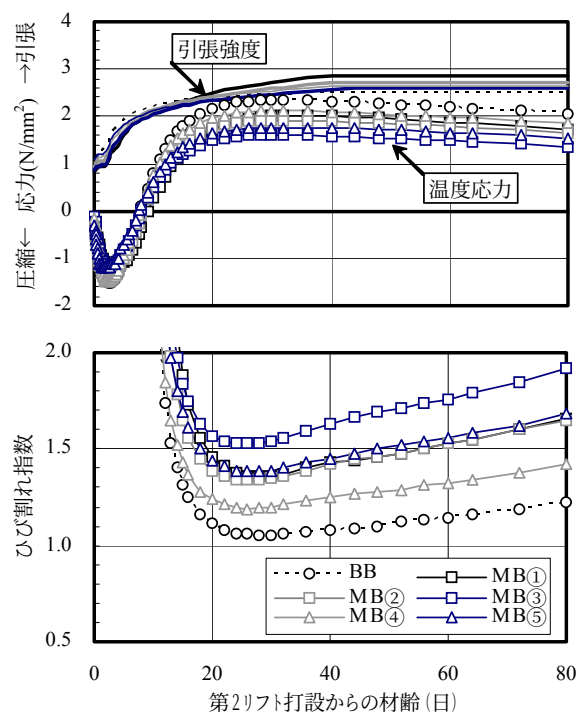


図5 解析結果