

港湾向け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。現在の高炉セメント B 種 (BB) は、塩化物イオンの浸透に対する抵抗性に優れるものの、発熱や強度発現が普通ポルトランドセメントに近く、自己収縮が大きいため、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。筆者らは、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低発熱セメント (MB) に関する検討を行い、BB よりも温度ひび割れを抑制できる高炉スラグ系低発熱セメントの仕様を見出している¹⁾。

そこで本研究では、発熱、強度、収縮特性および塩化物イオンの浸透性に着目し、低熱ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を加えた港湾マスコンクリート用高炉スラグ系低発熱セメント (LB) に関する検討を行った。

2 試験概要

表 1 主な使用材料

セメント	低熱ポルトランドセメント：密度 3.24g/cm ³ 中庸熱ポルトランドセメント：密度 3.21g/cm ³ 高炉セメント B 種：密度 3.04g/cm ³
高炉スラグ微粉末	①比表面積 4000cm ² /g、②比表面積 6000cm ² /g ③比表面積 5000cm ² /g (①：②=0.5：0.5)

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を低熱ポルトランドセメント (L) に置換し、表 2 に示す 7 種の LB を試製した。また、比較用セメントとして BB, MB を使用した。コンクリートの主な配合条件を表 3 に示す。

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)	
LB①	40	4000	1.80
LB②	60		
LB③	50	5000	
LB④	60		
LB⑤	40	6000	
LB⑥	50		
LB⑦	60		
MB	60	4000	2.30

2.2 試験項目

試験は、断熱温度上昇、圧縮強度、自己収縮および塩化物イオンの浸透抵抗性について実施した。

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、LB②では MB より 7°C、BB より 23°C 程度低くなった。同一置換率で比表面積が大きくなっても、終局断熱温度上昇量に差は認められなかった。断熱温度上昇の速度定数は、高炉スラグ微粉末の置換率が増加する、または、比表面積が大きくなると大きくなった。

断熱状態での自己収縮の終局値を図 2 に示す。断熱状態での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。また、同一置換率で比表面積が小さくなると、自己収縮の終局値は小さくなり、LB②では MB より 30×10⁻⁶ 程度、BB より 100×10⁻⁶ 程度小さくなった。

圧縮強度を図 3 に示す。高炉スラグ微粉末の置換率が増加すると、材齢 7 日までの圧縮強度は高くなるが、材齢 28 日以降の強度増進が小さくなった。また、同一置換率で比表面積が大きくなった場合も、材齢 7 日までの圧縮強度が高くなり、特に、材齢 7 日以降の強度増進が小さくなった。

塩化物イオンの拡散係数を図 4 に示す。LB の塩化物イオンの拡散係数は、高炉スラグ微粉末の置換率が増加する、または、比表面積が大きくなると小さくなり、LB⑦が最小となった。LB は、BB や MB より塩化物イオンの拡散係数が若干大きくなるものの、LB①を除き、ベースセメント (L) より塩害に対する抵抗性を有すると考えられる。

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、断熱温度上昇、自己収縮、圧縮強度、塩化物イオンの浸透抵抗性、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

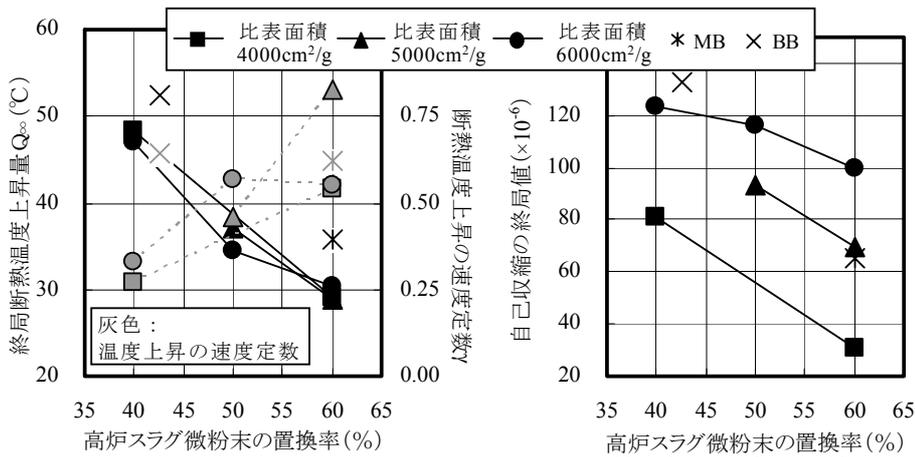


図1 断熱温度上昇定数

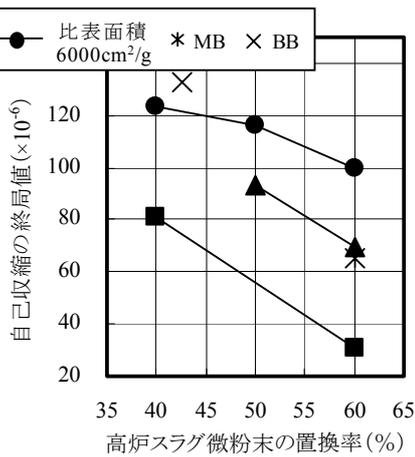


図2 断熱状態での自己収縮の終局値

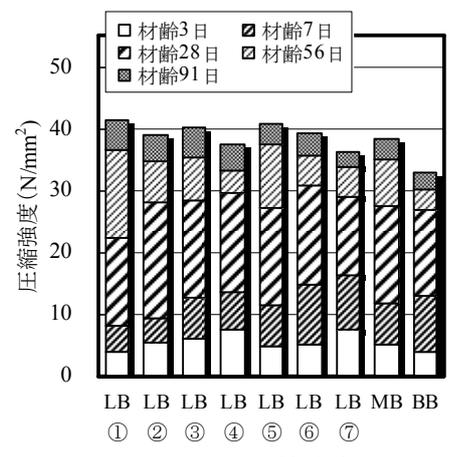


図3 圧縮強度

3.2 温度応力解析

2リフトの壁状モデルについて3次元FEMによる温度応力解析を行った。解析モデルを図5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、その他の解析条件は土木学会コンクリート標準示方書の値を用いた。

最小ひび割れ指数を図6に示す。検討したLBの最小ひび割れ指数は、いずれもBBより高くなった。これは、LBの最高温度がBBよりも低いため、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よりも優れているためと考えられる。LBでは、LB②の最小ひび割れ指数が最大となった。これは、比表面積4000cm²/gの高炉スラグ微粉末を60%置換すると、最大温度応力時の引張強度はやや低くなるが、最高温度を最も低くでき、さらに、自己収縮が小さいためである。したがって、同仕様の低発熱セメントを用いることでBBやMBよりもひび割れの発生を抑制することができると考えられる。一方、同一置換率において比表面積を6000cm²/gにした場合、材齢初期の引張強度は高くなるが、自己収縮が大きいため、MBよりも最小ひび割れ指数は低くなった。

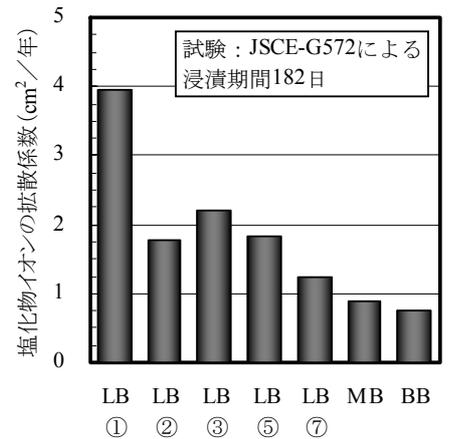


図4 塩化物イオンの拡散係数

表4 主な解析条件

セメント種類		LB①	LB②	LB⑦	MB	BB
設計基準強度(N/mm ²)		fc ₃₆ =24			fc ₂₈ =24	
W/C (%)		55.0	53.7	51.1	51.8	55.0
単位セメント量(kg/m ³)		252	276	278	290	270
断熱温度上昇	Q	48.0	27.4	33.0	34.7	49.7
	γ	0.2875	0.5709	0.6707	0.5451	0.5603
	δ	0.9454	0.7707	0.6062	—	—
圧縮強度(N/mm ²)	210°D・D	7.29	7.67	15.7	12.4	20.0
	840°D・D	24.5	25.3	27.9	32.0	33.7
	1580°D・D	32.0	32.0	32.0	39.5	37.2
	2730°D・D	40.2	37.0	35.1	45.1	39.9

*自己収縮の考慮あり、施工場所(打設時期): 東京(4/1~)

4 まとめ

低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%置換した高炉スラグ系低発熱セメント(LB)を適用することで、BBやMB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。また、BBやMBと同様に、ベースセメントよりも塩害に対する抵抗性を有すると考えられる。

<参考文献> 中里他: 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、第61回年次学術講演会、2006

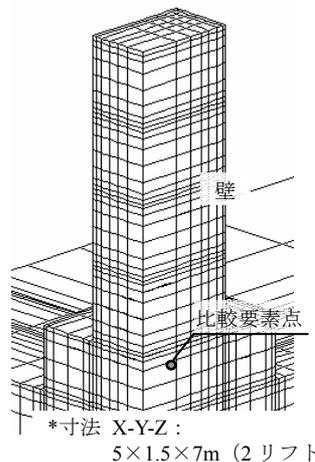


図5 解析モデル

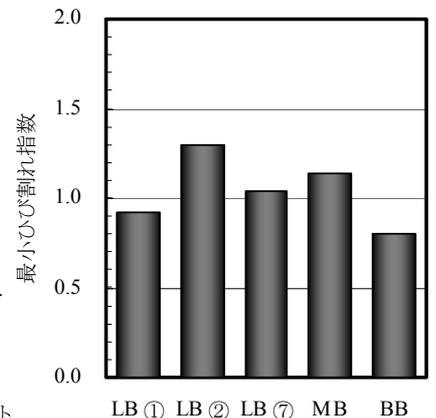


図6 最小ひび割れ指数