低発熱型高炉セメントＢ種を用いたコンクリートに関する一実験

西日本高速道路(株)　正会員　○山本　泰造
西日本高速道路(株)　正会員　大城　壮司
日鉄住金高炉セメント(株)　正会員　岩井　久
日鉄住金高炉セメント(株)　正会員　前田　悦孝

１．目的

高炉セメントB種は，耐久性，環境負荷低減の観点から有意な結合材であるものの，構造物の大型化に伴い，マスコンクリートでの温度ひび割れが懸念されるケースが増えてきている．近年，マスコンクリートに適した低発熱型高炉セメントB種（LBBと略す）が普及しつつあり，その素材である高炉スラグ微粉末3000（LBSと略す）についてもJIS規格化されるに至っている．そこで，LBS置換率とSO_3量が異なる2種のLBBとLBSを用いて試製した1種について，断熱温度上昇特性および強度発現を確認した．

２．試験項目および試験方法

２．１　使用材料

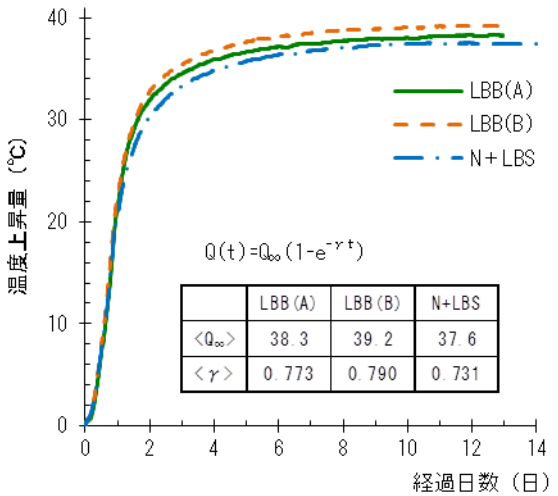
使用した結合材の諸元を表1に示す．LBBはJIS R5211の高炉セメントB種適合品である（A）および（B）の2銘柄とした．N＋LBSは市販の普通ポルトランドセメント（Nと略す）とLBSからなり，混合後のスラグ分量およびSO_3量がLBB相当（スラグ置換率58%，SO_3=3.76%）になるよう石こうを添加したものである．ここで，LBSのSO_3量はJIS A6206の規格（4.0%以下）を超える値になっている． Nは LBB2種と銘柄が異なる（C）を，LBSには（B）を用いた．骨材は石灰砕砂と砕砂（石英斑岩）および砕石（石英斑岩）を用いた．混和剤は標準形AE減水剤を用いた．

表１　使用結合材の諸元

結合材		銘柄	密度 (g/cm³)	比表面積 (cm²/g)	SO_3 (%)	備考
LBB		(A)	2.98	3250	3.54	スラグ置換率55%
		(B)	2.98	3250	3.74	スラグ置換率58%
N＋LBS	N	(C)	3.13	3290	1.75	市販品
SO_3=3.76%	LBS	(B)	2.99	3170	4.93	石こう添加品

２．２　コンクリートによる断熱温度上昇試験、強度試験

コンクリート配合は共通で，呼び強度30N/mm²，単位結合材量354kg/m³, W/C46%, s/a41.0%とし，スランプ11.0±1.5cm，空気量5.0±0.5%，コンクリート温度20±1℃を目標値とした．断熱温度上昇試験は，空気循環式試験機を用い，日変化量1℃以下を終了条件とした．強度試験は，標準養生での圧縮強度（JIS A1108）と割裂引張強度（JIS A1113）を測定した．



	LBB(A)	LBB(B)	N+LBS
<Q∞>	38.3	39.2	37.6
<γ>	0.773	0.790	0.731

図１　断熱温度上昇量

３．試験結果

３．１　断熱温度上昇特性

各コンクリートの断熱温度上昇試験結果を図1に示す．終局断熱温度上昇量，温度上昇速度係数ともに結合材によって大きな違いは見られなかった．既報[1)]ではN＋LBSにおいて，市販のBBに対する断熱温度上昇抑制効果が確認されており，NやLBSの銘柄が異なる場合でも，スラグ置換率，比表面積およびSO_3量を調整することで，ほぼ同等の発熱特性とBBに対する断熱温度上昇抑制効果を得られると考えられる．

キーワード　低発熱型高炉セメント，高炉スラグ微粉末3000，断熱温度上昇特性，強度，ひび割れ抵抗性
連絡先　〒567-0871 大阪府茨木市岩倉町1-13　西日本高速道路株式会社 関西支社　ＴＥＬ06-6344-9611

３．２　圧縮強度および引張強度

各コンクリートの強度試験結果を図 2 に示す．LBB については，スラグ置換率と SO_3 量が異なる（A）と（B）の間に大きな違いは見られなかった．一方，N の銘柄が異なる LBB（B）と N＋LBS の間に材齢 28 日で 5N/mm^2 超の強度差が見られ，LBB（B）の材齢 28 日強度と N＋LBS の材齢 56 日強度が同値であった．本試験では，N＋LBS のスラグ置換率と SO_3 量を LBB（B）に合わせて試製しているが，同様のスラグ置換率と SO_3 量であっても N と LBS の組合せる銘柄が変わると，異なる強度発現を示す可能性が考えられる．割裂引張強度については，材齢 14 日までは圧縮強度と同様の傾向を示し，材齢 28 日以降で LBB（A）がやや高めの結果となった．ただし，圧縮強度と引張強度の関係は，結合材によらず概ね一定の関係があることを確認した．

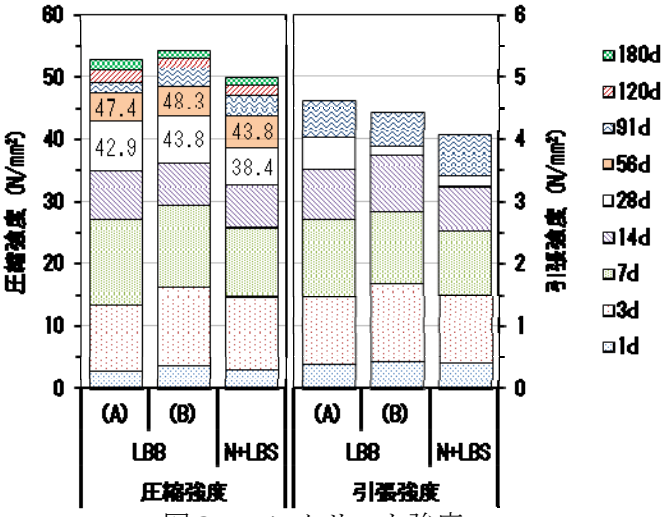


図 2　コンクリート強度

３．３　温度ひび割れに対する解析評価

今回得られた試験結果（断熱温度上昇特性および強度）をもとに，結合材の違いによる温度ひび割れの発生確率を解析比較した．図 3 にその解析モデルを示す．20℃環境のもと，内部と表面の温度差が終局断熱温度上昇量に近い値で，且つ内部拘束が卓越する様，1 辺 2.0m の矩形モデルで相対面を断熱境界と放熱境界に設定した．表 2 に解析の結果を示す．表中の値はひび割れ指数（＝引張強度／引張応力度）が最小値になる着目点の値で，結合材によらず同一の点である．温度上昇量が大きいほど発生する引張応力度も大きくなるものの，引張強度も高いことから，ひび割れ指数には大きな差が見られない結果となった．この結果から，結合材の銘柄が異なる場合でも，スラグ置換率，比表面積および SO_3 量を調整することで温度ひび割れに対する性能に大きな違いは生じないと考えられる．

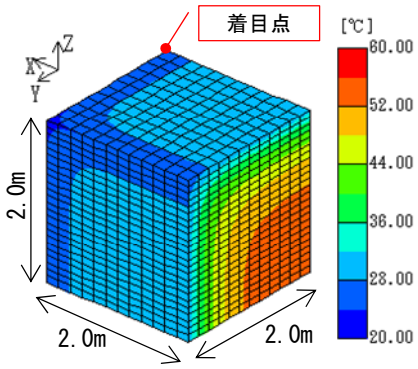


図 3　解析モデル図

表 2　温度応力解析結果

	最高温度（℃）			引張強度	引張応力度	ひび割れ
	表面	内部	温度差	(N/mm^2)	(N/mm^2)	指数
LBB(A)	24.04	55.85	31.81	1.19	1.23	0.967
LBB(B)	24.19	56.78	32.59	1.21	1.24	0.976
N+LBS	23.85	54.99	31.14	1.04	1.08	0.963

４．まとめ

低発熱型高炉セメント B 種について断熱温度上昇特性および強度発現を確認した．その結果，断熱温度上昇特性については，結合材の銘柄が異なる場合でも，スラグ置換率，比表面積および SO_3 量を調整することで，ほぼ同等の発熱特性を得られることを確認できた．強度発現については，LBB の 2 種に差はなく，N＋LBS として使用する場合，その銘柄の組合せによって強度発現が異なる可能性がある．内部拘束が卓越する温度ひび割れに対しては，結合材の銘柄が異なる場合でも，スラグ置換率，比表面積および SO_3 量を調整することで，その抵抗性が大きく異なることはないと考えられる．ただし，N＋LBS として使用する場合は，その銘柄を変えた組合せにおいて，今回と同等のひび割れ抵抗性を得るためのスラグ置換率，比表面積および SO_3 量を確認する必要があると考える．

【参考文献】

1)　佐溝純一ほか：低ブレーン高炉スラグを用いた高炉セメントのコンクリート橋脚への適用事例，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，No.1，pp77-82（2011）