

V-431

各種高炉スラグ系低発熱セメントを用いたコンクリートの温度ひびわれ制御効果について

第一セメント(株) 正会員 島津寛
正会員 大村久平

1. まえがき

近年、コンクリート構造物の大型化にともないマッシブな側壁・底板・地下連壁等の築造が日常化し、また、建築分野においても主として地下構造物にマスコンクリートが施工されるようになってきた。したがって、設計・材料・施工面から温度ひびわれ制御を目的としたマスコン対策を事前に検討することが要求される。この中で打設後のコンクリートの最高温度を確実に低くするために、低発熱セメントの使用あるいは打込温度を下げるためブレーキング工法等が採用されている。本報告では使用実績の多い3種類の高炉スラグ系低発熱セメントを使用したコンクリート構造モデルについて温度応力解析を行い、その温度ひびわれ制御効果について実地との照合において確認したものである。

2. セメントの種類とコンクリート配合

低発熱セメントの特徴を表-1に、また、それを使用したコンクリートの配合と断熱温度上昇実験定数を表-2に示す

表-1 セメントの種類と特徴

セメントの種類	構成	比重	ブレン (cal/g)	水和熱(Kcal/cf)		
				7日	28日	91日
A	2成分系	3.00	3700	55.7	72.6	81.6
B	3成分系	2.78	3600	48.6	62.1	67.5
C	3成分系	2.86	5200	42.1	46.4	51.4
B B	高炉B種	3.05	3700	63.4	80.3	91.4

3. 断熱温度上昇特性

表-2の配合で打込温度30℃におけるコンクリートの断熱

表-2 コンクリートの配合と特性

配合NO.	セメントの種類	設計基準強度	W/C (%)	s/a (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単重量 (Kg/m ³)					断熱温度上昇特性		打込温度 (℃)
							セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤	Q _∞	r	
①	A	σ ₉₁ =240	58.0	42.7	8	4	261	151	801	1097	0.653	32.22	0.752	30
②	B	σ ₉₁ =270	52.3	43.1	15	4	296	155	783	1055	0.740	28.56	0.615	30
③	C	σ ₉₁ =240	53.5	44.0	8	4	280	150	815	1057	0.700	19.10	1.872	30
④	B B	σ ₂₈ =240	55.0	45.2	8	4	300	165	811	1002	0.750	39.25	0.801	30
⑤	B B	σ ₂₈ =270	50.6	44.0	15	4	330	167	783	1018	0.825	42.46	0.809	30

温度上昇特性曲線を示したのが図-1である。使用した断熱温度上昇測定装置は空気循環式で、表-3は実験式 $Q(t)=Q_{\infty}(1-e^{-rt})$ における20℃打込みにおける単位セメント量Cと断熱温度上昇量 Q_{∞} 、rの関係を示したものである。

表-3 Q_∞、r~C関係式(打込温度20℃)

	セメントA	セメントB	セメントC	B B
Q _∞	=0.109C + 5.05	=0.0672C + 9.713	=0.0578C + 5.02	=0.120C + 5.90
r	=0.00052C + 0.408	=0.00049C + 0.329	=-0.0021C + 1.621	=0.0005C + 0.433

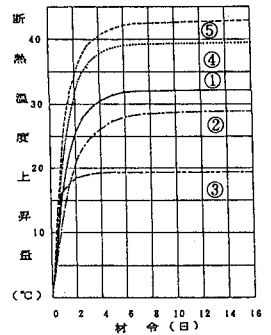


図-1 断熱温度上昇特性

4. 温度上昇に与えるrの影響

低発熱セメントCのようにQ_∞の値が超低熱にもかかわらずrが大きい場合、コンクリート内部温度上昇に与える影響について検討したのが図-2である。打込温度は30℃とし、セメントCのQ_∞=19.10一定とし、rを0.3~2.0の範囲に変動させた。温度解析の結果、コンクリートの厚さHが大きくなれば、rの影響はほとんどなく、厚さHが小さい場合にはrが大きいと温度上昇量は大きくなる。

5. 強度特性

表-4は各配合のコンクリートの圧縮強度特性を示したものである。

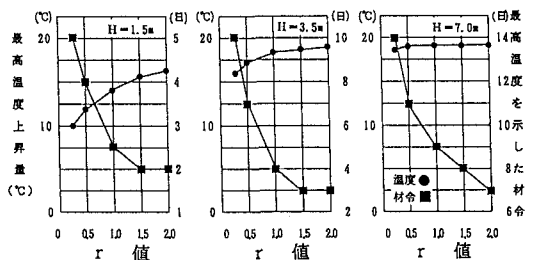


図-2 最大温度上昇量rとの関係(Q_∞一定)

6. 温度応力解析

図-3の実施例類似のモデルについて温度応力解析を行った。解析条件は表-2のコンクリートについて、表-4の強度特性と表-5の解析条件の数値を用いた。解析結果は温度ひびわれ指数として図-4に示した通りである。

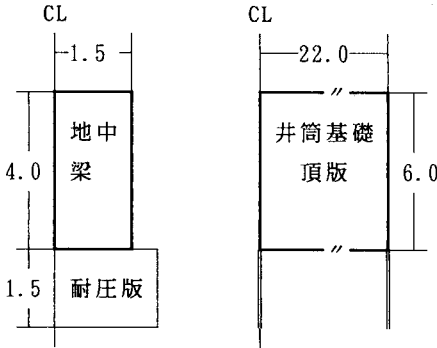


図-3 解析モデル（単位：m）

6. 温度ひびわれ指数とひびわれ調査結果

(1)地中梁：地中梁中心部に外部拘束応力による温度ひびわれ発生の可能性があり、BBでは温度ひびわれ指数の最低値1.29（材令、56日、発生確率15%）のところ、低熱Bでは指数1.93（材令56日、発生確率数%）となり、実施工においても、温度ひびわれ制御に有効であることが確認された。

(2)井筒基礎頂版：頂版表面部に内部拘束応力による温度ひびわれ発生の可能性があり、ひびわれ指数はBBで1.23（材令4日、発生確率20%）、低熱Aで1.59（材令4日、発生確率5%）、低熱Cで2.55（材令5日、0%）となり、良好な制御効果が予測された。また、実際に打設された低熱Cを用いたコンクリートでは温度ひびわれの発生は認められなかった。

7. まとめ

(1)低発熱セメントを使用したコンクリートの温度ひびわれ制御効果について、その熱的性質および強度特性値を使用してほぼ実例に近い構造モデルにおける温度応力解析を実施してその効果を予測し、実地におけるひびわれ調査結果との照合を行い、その適合性を確認した。

(2)低発熱セメントの断熱温度上昇特性 Q_0 値は、セメント $BB > A > B > C$ ； r 値は、 $C > BB > A > B$ となり、一般的に Q_0 値、 r 値ともに小さい方が望ましいが、超低熱Cのように r 値が大きくても Q_0 値が卓越して低い場合には、図-2に示したように構造物の厚さHが大きくなるにつれ r の影響はなくなり、良好な温度ひびわれ制御効果を発揮する。

(3)強度特性に相違があるので、 Q_0 値および設計基準強度を勘案しながら、セメントの種類・強度を保証する材令を決定する必要がある。各低熱セメントとも長期強度増進型であるが、Bは91日型、Aは56日型にも適している。セメントCは超低熱の大型マスコン用として91日型であるが、比較的強度の発現が早いので配合計算の結果、単位セメント量が少ない場合には耐久性の面からも最低セメント使用量を定める必要がある。

(4)高炉系低熱セメントは耐塩害性にすぐれているといわれているが、今後、中性化も含めて耐久性について検討を続けていくつもりである。

表-4 圧縮強度特性

配合	セメント	f(7)	f(28)	f(56)	f(91)
①	A	149	256	298	327
②	B	118	225	294	335
③	C	186	268	303	316
④	BB	178	297		
⑤	BB	210	349		

表-5 解析条件

*解析方法：FEM（2次元）	*熱伝達率：シート養生：5.2
*外気温：27℃	(Kcal/d.h.℃)：溜水(10cm)：7.1
*打込温度：30℃	合板：6.6
*熱伝達率：コンクリート：2.424	無養生：12.0
(Kcal/a.h.℃)：地盤：1.670	*強度特性：圧縮：表-4の通り
*熱容量：コンクリート：725	引張：土木学会法
(Kcal/d.℃)：地盤：425	静弾性係数：土木学会法
*断熱温度上昇特性：表-2に示す。	地盤：10.000(Kgf/d)
*ポアソン比：コンクリート：0.167	クリープ係数：土木学会法
地盤：0.3	

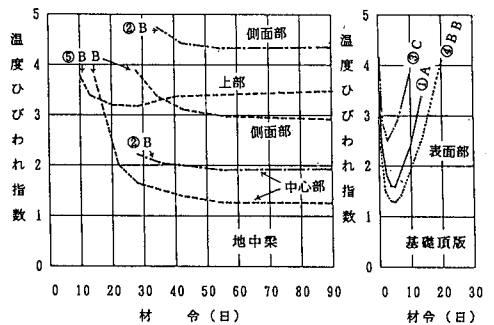


図-4 温度応力解析結果