

清水建設 正 員 小 野 定

1 はじめに

低熱性セメントの使用，単位セメント量の減少，パイプクーリング，プレクーリングの使用等は，マスコンクリートの温度ひびわれ対策として古くからその効果が認められている。しかしながら，個々の対策の採否は工事規模等により大きく左右されているのが現状である。先に示した二，三の対策例の中で最も多く採用されている対策は，低熱性のセメントの使用，単位セメント量の減少である。

本報は，マスコンクリートの温度ひびわれ対策の基本であると考えられる，低熱性のセメントの使用ならびに単位セメント量の減少が，マスコンクリートの温度ひびわれ制御効果に及ぼす影響について考察したものである。

2 各種低熱性のセメントを使用したコンクリートの諸性質

(1)セメントの物理試験，化学分析および水和熱試験結果

表－1，2 は実験に使用した各種低熱性セメント（D社およびN社製）の物理試験結果，化学分析および水和熱の測定結果を示したものである。比較の為試験した普通セメント以外の各種セメントとも，JISの中庸熱セメントの水和熱規定を下回っている。特に，スラグを55%混入したマスコン高炉Bの水和熱は，普通セメントの水和熱に比べて7日で約31%，28日で約26%小さい結果が得られた。標準的なスラグ混入量45%の高炉セメントに比べて，スラグ混入量を5%増すごとにセメントの28日の水和熱は2.4%，9.7%減少している。

表－1 セメントの物理試験結果

NO.	セメントの種類	比 重 (g/cm^3)	粉末度		凝 結		フ ロ ー 曲 げ		強 さ (kg/cm^2)	
			ブレン 重 (mg)	88 μ 水量 (%)	始発 時分	終結 時分	(mm)	3日	7日	28日
1	普通ポルトランドセメント	3.16	3100	0.5	28.2	2-42	3-40	266	30	46
2	高炉セメントB種(スラグ45%)	3.05	3410	1.2	26.5	3-31	4-26	269	23	35
3	〃 (スラグ50%)	3.04	3520	1.2	26.5	3-42	4-34	271	22	32
4	マスコン高炉B(スラグ55%)	3.02	3590	1.2	26.5	3-41	4-49	272	21	32
5	フライアッシュセメントB種	3.01	3100	1.0	27.5	4-06	4-59	276	30	38
6	中庸熱ポルトランドセメント	3.19	3130	1.0	27.6	2-42	3-55	271	30	36

表－2 セメントの化学成分および水和熱の測定結果

NO.	セメントの種類	化 学 成 分 (%)											水和熱 (cal/g)		
		lgion	lrsal	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	SO ₃	S	Total	未水和 セメント	7日	28日
1	普通ポルトランドセメント	0.5	0.1	21.5	5.8	3.3	0.1	63.6	2.2	2.0	—	99.0	617.5	75.8	91.2
2	高炉セメントB種(スラグ45%)	1.2	0.8	27.2	9.3	2.0	0.5	52.7	4.1	1.2	0.4	99.4	605.0	58.0	76.1
3	〃 (スラグ50%)	1.2	0.8	28.1	9.6	1.9	0.5	51.5	4.4	1.1	0.5	99.6	603.8	56.6	74.4
4	マスコン高炉B(スラグ55%)	1.3	0.9	28.7	10.0	1.7	0.5	50.2	4.8	0.9	0.5	99.5	600.6	52.4	67.6
5	フライアッシュセメントB種	1.3	13.3	19.5	5.7	2.9	0.1	52.2	1.9	2.0	—	98.9	585.0	66.0	77.0
6	中庸熱ポルトランドセメント	0.5	0.1	23.2	3.8	4.0	0.1	64.1	1.0	2.1	—	98.9	597.3	65.1	76.3

表－3 各種コンクリートの配合，圧縮強度，弾性係数

NO.	セメントの種類 (記号)	w/c (%)	砂 (%)	単位量 (kg/m ³)					実 測 スラング No.8 (cm)	圧縮強度(kg/cm ²)			弾性係数 1/3 ⁹⁴ (×10 ⁴ /kg/cm ²)	
				W	C	S	G	Pz.		7日	28日	91日		
1	普通ポルトランドセメント(N)	64.8	43.0	162	250	801	1082	0.625	13.5	4.9	171	253	284	276
2	高炉セメントB種(BB1)	59.2	42.5	148	250	804	1108	0.625	13.4	4.7	124	251	326	297
3	高炉セメントB種スラグ50%(BB2)	58.8	42.3	147	250	801	1113	0.625	12.5	4.2	122	247	325	285
4	マスコン高炉B(MB)	58.0	42.0	145	250	796	1121	0.625	12.0	4.3	119	245	326	295
5	フライアッシュセメントB種(FB)	59.2	42.5	148	250	801	1105	0.625	11.9	3.6	131	218	287	286
6	中庸熱ポルトランドセメント(MC)	60.0	43.0	150	250	816	1103	0.625	13.5	4.6	145	261	333	298

(2)コンクリートの圧縮強度試験結果

表→3に各種セメントを使用したコンクリートの配合，フレッシュコンクリートおよび圧縮強度等の試験結果を示す。配合は，単位セメント量を250 kg/m^3 に固定し，スランプ12±2.5 cm ，91日圧縮強度240 kg/cm^2 を条件にして決定している。マスコン高炉Bを使用したコンクリートの圧縮強度は，普通セメント使用コンクリートのそれに比べて，7日強度では約30%小さい傾向を示しているが，91日強度では逆に約15%大きくなっている。図－1はマスコン高炉Bを使用したコンクリートの σ_{91} 圧縮強度とW/C

との関係を示したものである。

(3)コンクリートの断熱温度上昇試験結果

表-3に示した配合のコンクリートの断熱温度上昇試験結果(練り上り温度20℃)を図-2に示す。配合Nは明らかに温度上昇速度および終局断熱温度上昇量とも他の配合に比べて大きい傾向を示している。マスコン高炉Bを使用したコンクリート(MB)は、他の配合に比べて温度上昇速度および終局断熱温度上昇量とも小さい傾向が認められる。特に、終局断熱温度上昇量は配合Nに比べて約25%小さくなっている。FBとMCはほぼ類似した結果が得られた。

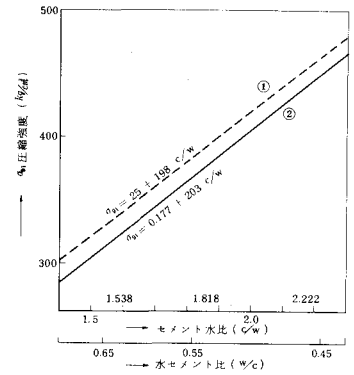
3 温度ひびわれ制御効果に及ぼすセメント種類ならびに単位セメント量の影響

先に示した各種低熱性のセメントを使用したコンクリートの断熱温度上昇試験結果を基に、地盤上に打込んだ4m厚のスラブをモデルにして、数値実験によりセメント種類ならびに単位セメント量が温度ひびわれ制御効果に及ぼす影響について考察した。

(1)セメント種類……図-3は配合MBを使用した場合の内部温度が最大値を示した材令における温度分布を示したものである。内部温度の最大値は約45℃である。同様に他の配合の場合には、Nが約55℃、BB1が約52℃、BB2が約51℃、FBが約53℃、MCが約52℃である。地盤上にスラブを施工した場合、一般に内部拘束による温度ひびわれ(CRACK-Aと略記)がクリティカルとなるので、このCRACK-Aの制御効果に及ぼす影響について考察してみると次のようである。CRACK-Aの発生は部材内の温度差に支配されるとすれば、配合Nの場合、温度差は約32℃であるため、低熱性のセメントを使用することにより温度差は、BB1で約9%、BB2で約13%、FBで約6%、MCで約9%小さくなり、CRACK-Aの制御効果に及ぼす影響が大であると考えられる。さらに、MBの場合には約31%温度差が緩和されており、極めて大きな影響が認められる。このような効果をブレーキングにより得るとするならば、打込み温度を10℃以上上げる必要がありこの効果の大きいことがわかる。

(2)単位セメント量……表-3に示した配合は、RCマスコンの配合としてはセメント量の少ない配合である。現状では、多くのマスコンの使用単位セメント量は300kg/m³前後である。普通セメント300kg/m³を使用した場合、内部温度の最大値は約59℃である。セメント量を250kg/m³に減少させた場合には55℃であり、4℃低くなっている。これにより部材内の温度差は約11%緩和されており、普通セメントを低熱性セメントに変えた場合に相当する効果が得られている。

※)小野定, 外: マスコンクリートの硬化熱による熱伝導および熱応力解析システム, 土木学会第4回電算機利用に関するシンポジウム, pp. 65~68, 1979年11月



①因島大橋下部工工事の実績
②試験値の結果

図-1 マスコン高炉を使用したコンクリートの λ と w/c との関係

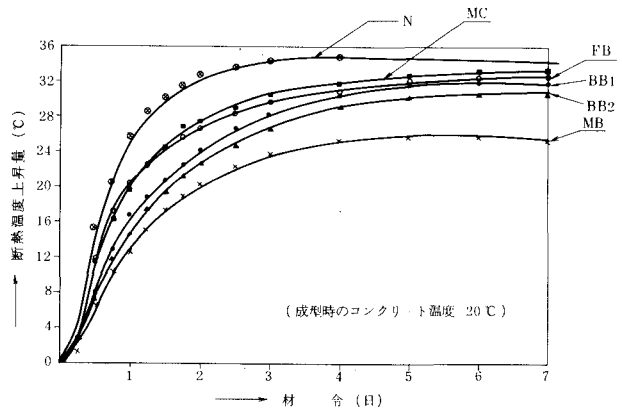


図-2 各種セメントを使用したコンクリートの断熱温度上昇

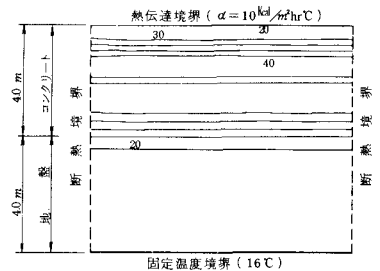


図-3 マスコンクリート熱伝導解析結果
168時間後温度分布図