

中庸熱ポルトランドセメントをベースとするスラグ混和コンクリートの諸物性

太平洋セメント（株）正会員 ○森 寛晃太平洋セメント（株）正会員 東 洋輔

太平洋セメント（株）正会員 三谷 裕二太平洋セメント（株）正会員 谷村 充

1. はじめに

近年、低炭素化社会の構築に向けた取り組みの一環として、高炉スラグやフライアッシュなどの副産物を有効利用するためのセメント・コンクリートの研究開発が盛んである。ここ数年は、高炉スラグの分量をC種相当としたスラグ混合セメントについて、コンクリート諸物性の把握や温度ひび割れ抵抗性の評価が行われ、実大部材レベルの施工実験も行われている^{例えば1)}。

本研究では、中庸熱ポルトランドセメントを基材とし、高炉スラグ微粉末の比表面積や混合割合をB種の範囲で変化させたコンクリートにつき、マス部材を想定した熱履歴下での諸物性を把握し、これら物性値を用いて、3次元FEM解析を行い、温度ひび割れ抵抗性を評価した。

2. 実験概要

セメントは、市販の中庸熱セメント(M)および研究用の普通セメント(N)を、高炉スラグ微粉末は比表面積の異なる2種類(3000cm²/g級と4000cm²/g級)を使用した。試験因子は、セメントおよびスラグの種類に加え、スラグ混和割合(45%および60%)とした。スラグ混和処方は、全SO₃量が3%となるよう無水石こう(AH)を添加した。コンクリート配合を表1に示す。水結合材比(W/B)は50%、細骨材率は45%とした。AE減水剤(Ad)使用量はB×0.25%とし、目標SLが12.0±2.5cmになるようWを調整した。

試験項目は、コンクリートのフレッシュ性状、断熱温度上昇特性、強度特性および自己収縮特性とした。コン

クリートの力学特性は、マス部材を想定した熱履歴下の他、20℃環境下での基本物性を取得した。熱履歴パターンは実測した断熱温度上昇特性より、壁部材(高さ4m、厚さ2m、長さ10m)中心部の温度履歴として導出した。

3. 実験結果

3.1 コンクリートの諸物性

フレッシュ性状の結果は、表1に併記した。配合によるWの変化は5kg/m³以内であった。凝結始発時間は、いずれも6〜7時間だが、Mを基材とするスラグ混和処方(MS処方)の終結時間はMより2〜3時間遅延した。Nを基材とするNS処方の遅延程度はMS処方より少ない。断熱温度上昇特性を回帰式係数として表2に示す。終局断熱温度上昇量(K)は、Mを基準として、スラグ混和割合60%では小さく、45%では大きい。さらに、スラグ4000の方が大きい。一方、NS処方は、断熱温度上昇速度に関する係数(α、β)がMS処方よりも大きい。

表2 断熱温度上昇式の係数※

配合	K	α	β
MB(4000)60	37.3	0.669	0.706
MB(3000)60	35.6	0.605	0.959
MB(4000)45	44.7	0.626	1.01
MB(3000)45	44.3	0.528	0.856
NB(4000)60	44.7	0.768	1.01
NB(3000)60	41.7	0.697	1.01
NB(4000)45	50.8	0.823	1.10
NB(3000)45	48.0	0.758	1.01
M	40.5	0.674	0.859

※Q(t)=K×(1-exp(-α×t^β))の係数

表1 コンクリート配合およびフレッシュコンクリート性状

配合	単位量(kg/m ³)								Ad (B×%)	フレッシュコンクリート性状				
	W	B					S	G		SL (cm)	Air (%)	C.T (℃)	凝結時間	
		C		BFS		AH							(h-min)	
		M	N	4000	3000								始発	凝結
MB(4000)60	156	112	—	187	—	13	810	1019	0.25	14.0	4.5	21.0	6-35	12-45
MB(3000)60	156	112	—	—	187	13	811	1011		10.5	3.5	21.3	6-55	12-35
MB(4000)45	158	163	—	142	—	11	810	1019		10.0	4.9	21.0	7-25	11-05
MB(3000)45	156	160	—	—	140	11	814	1025		10.0	5.0	21.7	7-15	11-15
NB(4000)60	158	—	113	190	—	13	808	1011		11.0	4.8	21.7	6-40	10-35
NB(3000)60	157	—	113	—	188	13	810	1013		13.5	3.9	21.4	6-35	9-25
NB(4000)45	160	—	165	144	—	11	805	1007		10.0	4.7	21.8	6-20	8-35
NB(3000)45	158	—	163	—	142	11	809	1012		9.5	5.0	21.4	6-55	9-20
M	158	316	—	—	—	—	808	1016		10.0	4.9	22.2	7-10	9-15

キーワード 中庸熱ポルトランドセメント、高炉スラグ微粉末、熱履歴、自己収縮ひずみ、温度応力解析

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作2-4-2 太平洋セメント(株) 中央研究所 TEL. 043-498-3804

熱履歴下のコンクリート圧縮強度を図 1 に示す。また、有効材齢 28 日時点の熱履歴下強度を算出し、20℃環境下の強度に対する比を強度比として、同図に併せて示す。強度比に着目すると、NS 処方よりも MS 処方の方が、また、スラグ 3000 の方が高い。これは M の熱履歴下での強度発現が大きいこと、スラグ 3000 の混和により初期の温度上昇が低く抑えられたことが、熱履歴下での強度発現の面で有利に作用したためと考えられる。

スラグ混和処方の自己収縮特性は、材齢 1 日付近で膨張ひずみが生じ、その後、収縮に転じるが、熱履歴を受けると、材齢初期の収縮は大きくなった。初期膨張の最大ひずみを起点として、収縮が収束するまでのひずみ変化量を図 2 に示す。スラグ混和処方のひずみ変化量は M よりも大きく、MS 処方のひずみ変化量は NS 処方よりも小さい。また、スラグ 3000 の方がひずみ変化量は小さい。

3.2 温度応力解析によるひび割れ抵抗性評価

熱履歴下で取得した強度および自己収縮ひずみの物性値を用いて、3 次元 FEM 温度応力解析(モデルは前述の壁部材)を行い、温度ひび割れ指数を算出した(有効材齢 91 日まで)。解析条件を表 3 に示す。最小温度ひび割れ指数を図 3 に示す。検討処方の中では M の温度ひび割れ指数が最も大きく、総じて MS 処方の方が NS 処方よりも指数値が大きい。指数が最小となる有効材齢に着目すると、NS 処方よりも MS 処方の方が、また、スラグ混和割合 45%処方よりも 60%処方の方が遅くなる傾向が認められる。MS 処方は、NS 処方よりも温度応力が小さいため、ひび割れ指数は大きくなるが、スラグ混和による自己収縮進展の影響が相対的に大きくなり、最小ひび割れ指数の得られる時期が遅くなったと考えられる。

4. まとめ

- 本研究から得られた結果を以下にまとめる。
- 1) MS 処方の断熱温度上昇特性は、スラグ比表面積が小さく、スラグ混和量が大きいほど終局温度上昇量は小さい。また、NS 処方よりも断熱温度上昇速度は小さい。
 - 2) マス部材を想定した熱履歴下での強度発現性は、MS 処方の方が NS 処方よりも大きい。
 - 3) MS 処方は、熱履歴下での強度発現性に優れ、かつ温度上昇量と自己収縮ひずみが小さいため、NS 処方よりも優れた温度ひび割れ抵抗性を有する可能性がある。

参考文献

1) 米澤敏男ほか：エネルギー・CO₂・ミニマム(ECM)セメント・コンクリートシステム、コンクリート工学, Vol.48, No.9, pp.69-73(2010)

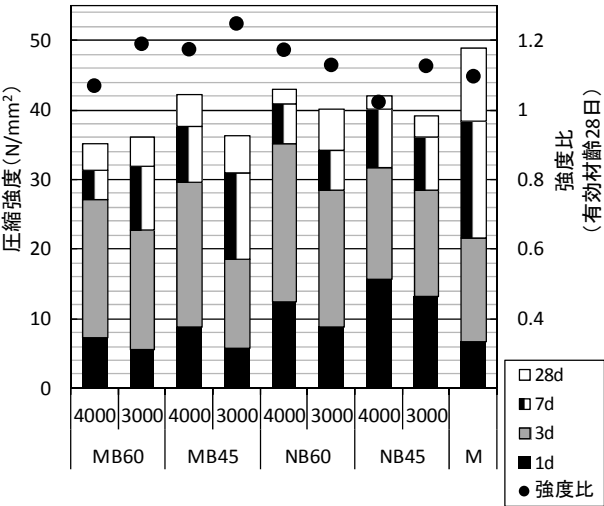


図 1 コンクリートの圧縮強度(熱履歴)

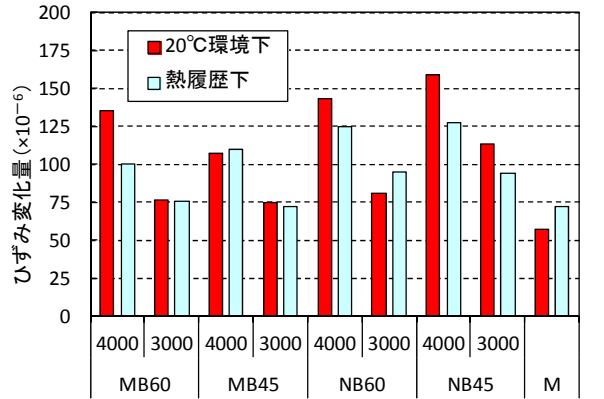


図 2 初期膨張の最大ひずみ以後のひずみ変化量

表 3 主な解析条件

入力条件	解析に用いた物性値
断熱温度上昇	各配合の実測値 (初期温度 20℃)
熱膨張係数	M は 10 μ /℃, それ以外 12 μ /℃
圧縮強度	$f_c'(t_e)=t_e/(a+b \cdot t_e)$, t_e は有効材齢 (熱履歴下)
ヤング係数	$y=6.85x^{0.42}$ (熱履歴下)
引張強度	$y=0.29x^{0.66}$ (20℃環境)
ポアゾン比	0.2
クリープ構成則	ヤング係数の低減方法は JCI 法による
自己収縮	熱履歴下のひずみと有効材齢の関係

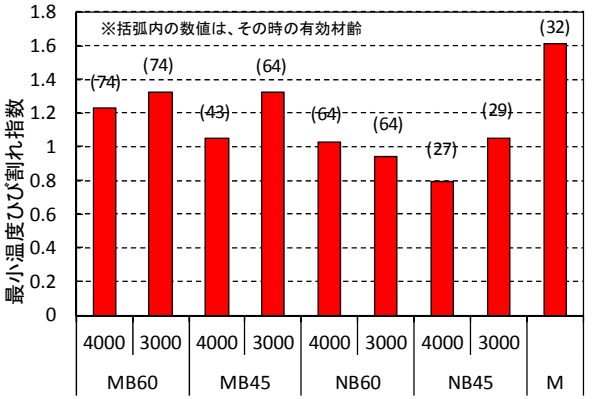


図 3 最小温度ひび割れ指数