中庸熱セメントを基材としたスラグ混和コンクリートの温度ひび割れ抵抗性評価

太平洋セメント株式会社　正会員　○大野　拓也　三谷　裕二　森　寛晃
法政大学　デザイン工学研究科　正会員　溝渕　利明

１．はじめに

近年，環境負荷低減社会の構築に向けた取組みとして，セメント・コンクリートに副産物を有効活用するための研究開発が盛んに行われている．高炉スラグ微粉末(以下，高炉スラグ)を用いたセメントについては，普通セメントを基材として，化学成分や高炉スラグの比表面積を調整した低発熱型の高炉セメントが開発され，マスコンクリートに適用されている[1)]．一方，著者らは中庸熱セメントを基材とし，高炉スラグを JIS 規格の B 種の範囲内で変化させたコンクリートについて，高炉スラグの比表面積や混合割合が強度・断熱温度上昇・自己収縮特性などに及ぼす影響を検討してきた[2)]．

本研究では，実構造物の温度・拘束条件を模擬できる一軸拘束型の温度応力シミュレーション装置(以下，TSTM)を用いて，中庸熱セメントを基材とし，高炉スラグを 60%混和したコンクリートの温度ひび割れ抵抗性を実験的に評価した．

２．実験概要

２．１　使用材料および配合

表-1 に使用材料を示す．セメントには中庸熱セメントおよび高炉セメント B 種，混和材には高炉スラグ，無水石こうを使用した．**表-2** にコンクリートの配合を示す．検討したコンクリートは，中庸熱セメントに高炉スラグを内割りで 60%混和し，さらに結合材中の全 SO_3 量が 3.0%となるように無水石こうを添加したコンクリート(MB60)，中庸熱セメント，高炉セメント B 種を単独で用いたコンクリート(M，BB)とした．水結合材比は 50%とし，スランプおよび空気量がそれぞれ 10±2.5cm，4.5±1.5%となるように単位水量および混和剤の添加量を調整した．コンクリートの練混ぜは二軸強制練りミキサを用い，20℃の恒温室内で行った．

表-1　使用材料

材料	記号	物理的性質など
セメント	M	中庸熱ポルトランドセメント/ 密度：3.21g/cm^3，SO_3：2.10% 比表面積：3210cm^2/g
	BB	高炉セメント B 種/ 密度：3.04g/cm^3，SO_3：2.17% 比表面積：3800cm^2/g
高炉スラグ微粉末	BFS	密度：2.91g/cm^3，SO_3：0.26% 比表面積：4450cm^2/g
天然無水石こう	AH	密度：2.83g/cm^3，SO_3：54.4% 比表面積：3930cm^2/g
細骨材	S	静岡県掛川市産山砂/ 表乾密度：2.59g/cm^3，吸水率：1.50%
粗骨材	G	茨城県桜川市産砕石(砕石 2005)/ 表乾密度：2.63g/cm^3，吸水率：0.66%
混和剤	AD	AE 減水剤/リグニンスルホン酸系
	AE	空気量調整剤

表-2　コンクリートの配合

記号	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)						
			W	B(結合材)				S	G
				M	BB	BFS	AH		
MB60	50	45	156	112	0	187	13	810	1019
M			158	316	0	0	0	808	1016
BB			160	0	320	0	0	801	1008

２．２　TSTM 試験

図-1 に TSTM 試験体と装置の概要を示す．TSTM 試験体の寸法は，150×150×1000mm であり，任意の拘束度を与える拘束試験体と無拘束試験体で構成されている．試験体の変形は，両側面に設置した変位計を用いて測定した．

TSTM 試験体には，マスコンクリート部材の内部を想定し，厚さ 2m，高さ 4m，長さ 10m の壁部材の 3 次元 FEM 温度解析より求めた部材中心における温度履歴を与えた．温度解析における断熱温度上昇特性には，JCI-SQA3「コンクリートの断熱温度上昇試験方法(案)」に準拠して実施した測定値を用い，その他の物性値は，JCI「マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008」[3)] を参考に定めた．

拘束試験体は，標点間の変形がゼロとなるような完全拘束

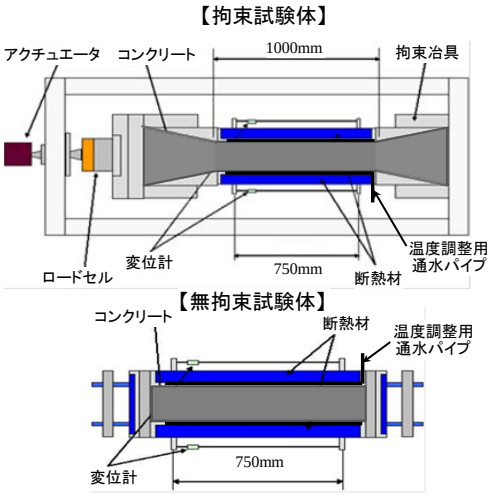

図-1　TSTM の概要図

キーワード　中庸熱セメント，高炉スラグ微粉末，温度応力，温度ひび割れ，一軸拘束試験
連絡先　〒285-0802　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：043-498-3893

状態(拘束度：1.0)で制御し，その拘束条件下でひび割れが発生するまでの応力履歴を測定した．

3．実験結果および考察

図-2 に TSTM 試験体の温度履歴を示す．いずれの配合も，材齢 2.5 日程度で最高温度に達し，その後は 20℃まで緩やかに降下する履歴となった．最高温度は，MB60，M，BB でそれぞれ 47.4，50.9，64.1℃であり，MB60 は M より 3.5℃，BB より 16.7℃低かった．

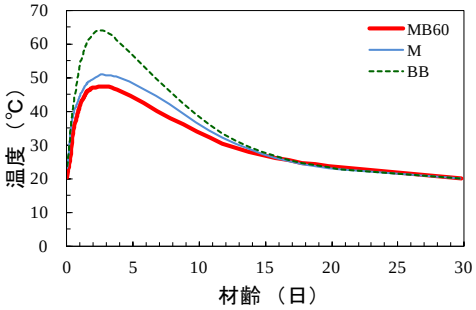

図-2 TSTM 試験体の温度履歴

図-3 に TSTM 無拘束試験体のひずみ(正:膨張)を示す．このひずみは，温度変化による温度ひずみと自己収縮ひずみの双方が含まれたものである．MB60 は，M および BB と比較して温度上昇量が小さいにもかかわらず，温度上昇時に発生する膨張ひずみが最も大きくなった．この一因としては，SO_3 量を高めた高炉セメントの研究[4]で報告されている，エトリンガイト生成による初期膨張の影響が考えられる．

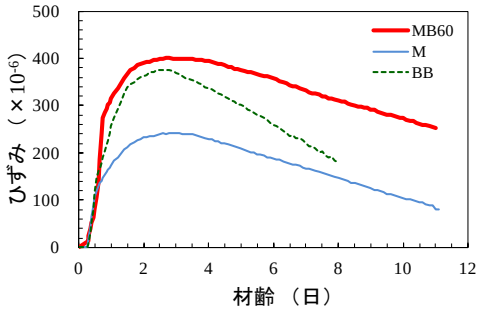

図-3 TSTM 無拘束試験体のひずみ

図-4 に TSTM 拘束試験体にひび割れが発生するまでの応力履歴(正：引張，負：圧縮)を示す．ひび割れ発生材齢は，MB60，M，BB でそれぞれ 10.7，10.9，5.9 日であり，MB60 は M とほぼ同等で，BB より明らかに大きく，ひび割れ抵抗性に優れる結果であった．

MB60，M，BB の温度上昇時に発生する圧縮応力は，それぞれ 1.35，0.99，1.17N/mm^2 であり，無拘束試験体に生じた膨張ひずみの大小関係と対応していた．一方，ひび割れ発生時における引張応力は，MB60，M，BB でそれぞれ 2.15，2.36，2.17N/mm^2 であり，配合による顕著な差は認められなかった．図中には，TSTM 試験体と同一の温度条件下における圧縮強度の結果を基に算出した割裂引張強度を併記している[2]．ひび割れ発生時における応力強度比(引張応力/割裂引張強度)は，配合によらず 0.7～0.75 程度であり，既往の実験より得られた，ひび割れ発生時の収縮応力強度比の範囲[5]と対応していた．

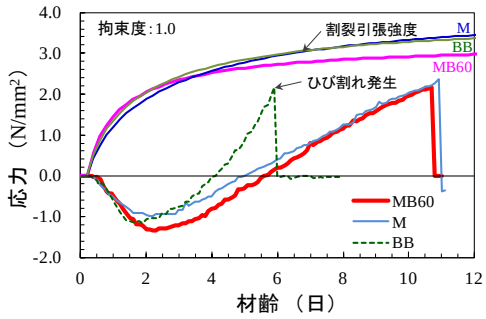

図-4 TSTM 拘束試験体の応力履歴

図-5 に応力と拘束ひずみの関係を示す．ここで，拘束ひずみは拘束試験体のひずみ(完全拘束状態なので 0)と無拘束試験体のひずみの差である．引張応力が生じる区間における拘束ひずみの変化量(引張限界ひずみ)は，MB60，M，BB でそれぞれ 100×10^{-6}，113×10^{-6}，64×10^{-6} であった．このひずみを引張伸び能力と仮定した場合，MB60 のひび割れ抵抗性は M より若干小さいものの，BB より明確に大きいと考えられる．

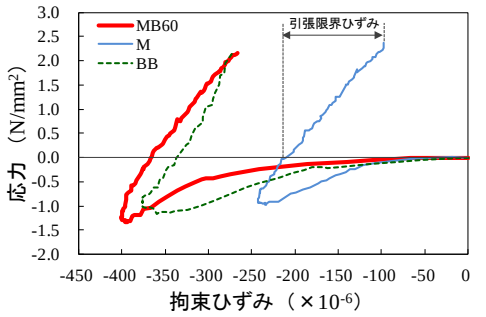

図-5 応力と拘束ひずみの関係

4．まとめ

中庸熱セメントを基材とし，高炉スラグ微粉末を内割りで 60%，無水石こうを結合材中の全 SO_3 量が 3.0%となるように混和したコンクリートの温度ひび割れ抵抗性について，温度応力シミュレーション装置を用いて実験的に検討した．その結果，引張伸び能力を表すと考えられる引張限界ひずみおよび温度ひび割れ発生材齢は，高炉セメント B 種より明確に大きく，中庸熱セメントと同程度であった．

【参考文献】

1)二戸信和ほか：高炉セメントの特性を活かす低発熱・収縮抑制型高炉セメントを用いたコンクリートの性能と実施工，セメント・コンクリート，No.722，pp. 10-16，2007.4 2)森寛晃ほか：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，土木学会第 70 回年次学術講演会，V-485，pp.969-970，2015 3)日本コンクリート工学会，マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008，pp.46-56，2008 4)谷田貝敦ほか：化学成分を調整した高炉セメント B 種の膨張・収縮挙動に及ぼす高炉スラグ微粉末の比表面積の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.1，pp.523-528，2013 5)日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物のクリープおよび収縮による時間依存変形に関するシンポジウム委員会報告書/論文集，JCI-C52，pp.164-165，2001