

早強セメントを用いた膨張コンクリートの温度応力低減効果

太平洋セメント(株) 正会員 ○三谷 裕二
正会員 大野 拓也
正会員 谷村 充

1. はじめに

膨張コンクリートはマスコンクリートの温度ひび割れ対策として広く利用されており、最近では、その効果を解析的に評価するための手法に関する検討が進んでいる。筆者らはこれまでに、普通セメント、高炉セメントならびに中庸熱・低熱セメントを用いた膨張コンクリートを対象に、強度・膨張特性の温度依存性を把握するとともに、応力解析用の材料モデルについて検討してきた^{1), 2), 3)}。

本研究では、これまでの実験データが比較的少ない早強セメントを用いた膨張コンクリートについて、インバー鋼材を用いた一軸拘束試験を行い、温度応力の低減効果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

使用材料を表-1、コンクリートの配合を表-2に示す。検討したコンクリートは、早強ポルトランドセメントに低添加型膨張材を 20kg/m^3 混和した膨張コンクリート (HEX)、および膨張材無混和のコンクリート (H) とした。水結合材比は 50%とし、目標のスランプ $15 \pm 2.5\text{cm}$ 、空気量 $4.5 \pm 1.5\%$ となるように混和剤の添加量を調整した。

2. 2 作製試験体および測定方法

インバー鋼材を用いた一軸拘束試験体の概要を図-1に示す。インバー鋼材は熱膨張係数が一般の鋼材の約 $1/20$ ($0.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$) であるため、温度ひずみと膨張材による膨張ひずみの双方の作用を受ける状態での拘束膨張・収縮ひずみを測定することができる。膨張と収縮の双方を測定するため、ねじ仕様に加工した鋼材を用い、長さを 800mm とすることで鋼材とコンクリートの定着を確保した。鋼材比は 0.7, 1.7, 5.7%の3水準とした。鋼材ひずみは、鋼材中央部の対称面に貼付した自己温度補償型ひずみゲージを用いて測定した。また、ひずみゲージと同じ位置に熱電対を設置し、温度を測定した。

2. 3 養生方法

インバー鋼材を用いた拘束試験体は、マスコンクリート部材の内部を想定した温度履歴下で養生した。設定した温度履歴は、厚さ 2.5m 、高さ 2.0m 、長さ 15.0m の壁部材の3次元 FEM 解析より求めた部材中心位置の温度履歴とした。なお、解析における断熱温度上昇特性などの特性値には、JCI ひび割れ制御指針⁴⁾で提示されている値を用いた。

コンクリートの練混ぜは 20°C 、80%R.H.の試験室内で行い、ブリーディングがある程度終了するまで同室内に静置した後、仕上げ面にポリエステルフィルムを被せ、その上を湿布とラップで覆った状態で所定の温度に制御された恒温槽内に投入した。なお、試験体の型枠には、底面にテフロンシート、側面にポリエステルフィルムを設置し、コンクリートと型枠の摩擦を極力抑制した。

3. 実験結果および考察

3. 1 強度特性

HEX, H の 20°C 水中養生下における圧縮強度 (JIS A 1108) およびヤング係数 (JIS A 1149) を図-2に示す。HEX の圧縮強度およびヤング係数は、膨張材無混和の H とほぼ同等であった。

3. 2 温度履歴下における拘束膨張・収縮特性

拘束試験体の鋼材ひずみ (正: 膨張, 負: 収縮) および中心温度の経時変化を図-3に示す。温度は、材齢 2 日程度で最高温度 68.5°C に達し、その後 20°C まで緩やかに降下する履歴となった。鋼材ひずみは、温度上昇時に膨張、温度降下時に収縮する挙動となり、温度上昇時に生じる HEX の膨張ひずみを H と比較すると、

表-1 使用材料

材料	記号	物理的性質など
セメント	C	早強ポルトランドセメント/ 密度: 3.14g/cm^3 , 比表面積: $4610\text{cm}^2/\text{g}$
膨張材	EX	低添加型石灰系膨張材/ 密度: 3.16g/cm^3 , 比表面積: $3450\text{cm}^2/\text{g}$
細骨材	S	山砂/ 表乾密度: 2.58g/cm^3 , 吸水率: 1.85%
粗骨材	G	硬質砂岩 (砕石 2005)/ 表乾密度: 2.64g/cm^3 , 吸水率: 0.58%
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

	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)				
			W	C	EX	S	G
HEX	50	45	170	320	20	786	983
H				340	0		

※B=C+EX

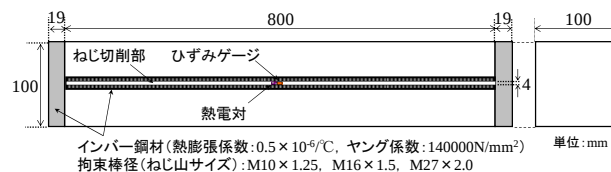


図-1 インバー鋼材を用いた拘束試験体

キーワード: 膨張コンクリート, 早強セメント, マスコンクリート, 温度応力, 拘束応力

〒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 TEL043-498-3804

鋼材比 0.7, 1.7, 5.7%でそれぞれ 1.4 倍, 1.5 倍, 1.5 倍であった。

3. 3 拘束応力

拘束応力の経時変化を図-4 に示す。拘束応力は、コンクリートと鋼材の力の釣合い式から算出した（正：引張，負：圧縮）。鋼材比によらず，HEX の温度降下後に生じている引張応力は，H より明確に小さいことが確認できた。

図-5 は HEX と H の拘束応力の差を示したものである。この差は，膨張材の作用によってもたらされた温度応力の低減効果（膨張応力）とみなすことができる。鋼材比 0.7, 1.7, 5.7%における膨張応力の最大値は，0.15, 0.30, 0.61N/mm²であり，鋼材比が高いほど大きかった。また，材齢 2 日付近で最大となった膨張応力は，温度降下後においてもほぼ維持されており，これは他のセメントを用いた膨張コンクリートの場合^{1), 2), 3)}と同様の傾向であった。

3. 4 実験値と解析値の比較

JCI ひび割れ制御指針⁴⁾では，膨張コンクリートの膨張ひずみについて，解析に取り入れるための設計用値を提示している。その膨張ひずみを用いて計算した拘束応力と実験値を比較した結果を図-6 に示す。なお，解析における圧縮強度，ヤング係数，熱膨張係数，クリープに関する特性値は，ひび割れ制御指針に提示されているものを使用した。解析値は，温度上昇時に生じる圧縮応力の発現速度が実験値より遅い傾向にあるものの，圧縮応力の最大値を含め，圧縮から引張までの応力挙動を概ね精度良く評価している。

4. まとめ

早強セメントを用いた膨張コンクリートの温度応力について，本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 膨張コンクリートは，膨張材無混和のコンクリートと比較して，マスコンクリート内部を想定した温度履歴下で生じる引張応力を明確に低減した。
- (2) 膨張材の作用によって温度上昇時に生じた膨張応力は，温度降下後においても保持されていた。
- (3) JCI ひび割れ制御指針で提示されている膨張ひずみの設計用値を用いた拘束応力の解析値は，実験値と概ね良く対応していた。

【参考文献】

- 1) 三谷裕二ほか：マス養生温度履歴下における膨張コンクリートの応力評価手法，コンクリート工学年次論文集，Vol.28, No.1, pp.1295-1300, 2006
- 2) 三谷裕二ほか：高炉セメントを用いた膨張コンクリートのマス養生温度履歴下における応力評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.29, No.2, pp.175-180, 2007
- 3) 三谷裕二ほか：低発熱形セメントを用いた膨張コンクリートの温度応力評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.36, No.1, pp.1498-1503, 2014

- 4) 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

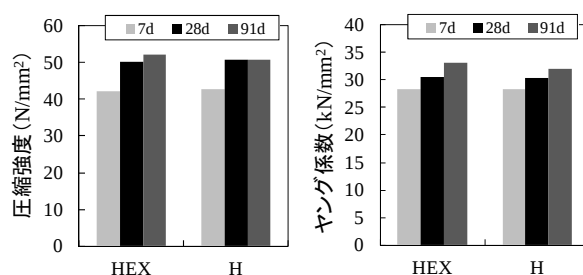


図-2 圧縮強度およびヤング係数

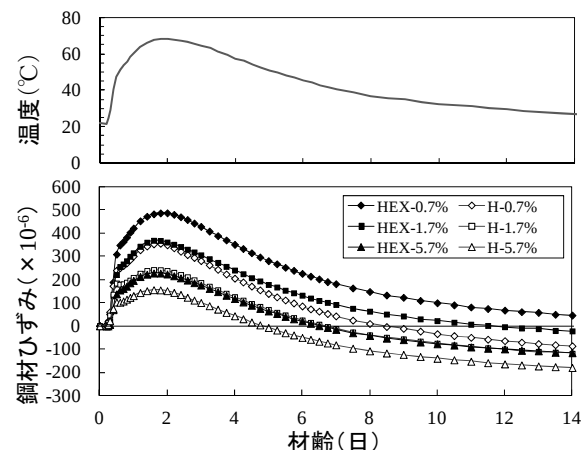


図-3 温度履歴下における拘束膨張・収縮ひずみ

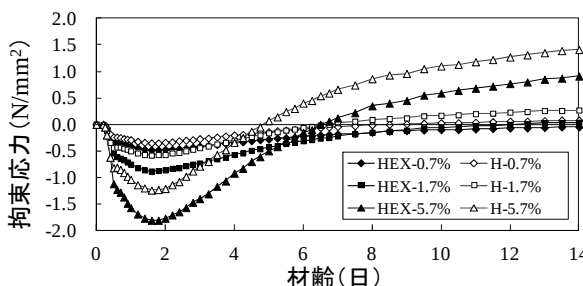


図-4 拘束応力の経時変化

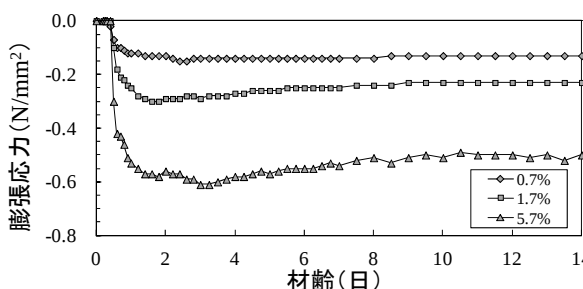


図-5 膨張応力の経時変化

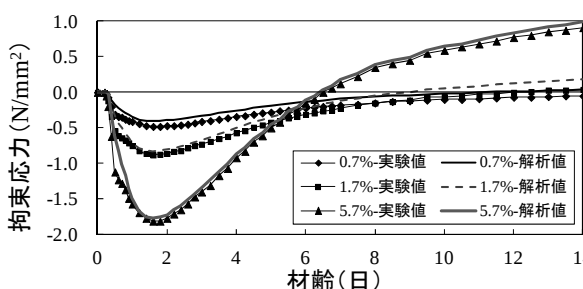


図-6 実験値と解析値の比較