

高温履歴条件下における高炉セメントの拘束応力に及ぼす自己膨張・収縮の影響

(株) デイ・シイ 正会員 ○谷田 貝 敦
(株) デイ・シイ 正会員 二戸 信和
足利工業大学 正会員 宮澤 伸吾

1. はじめに

資源の有効利用の観点から高炉スラグなどの産業副産物を多量に用いた低発熱型の混合セメントが利用拡大されている。著者らは、温度ひび割れの抑制を目的とした低発熱・収縮抑制型高炉セメントを提案している¹⁾。本セメントは、材齢 1 日で約 100×10^{-6} の膨張ひずみが生じ、温度ひび割れの抑制が期待できるが、膨張ひずみによる引張応力の低減効果を定量的に把握するには至っていない。そこで、本研究では低発熱・収縮抑制型高炉セメントの引張応力の低減効果に及ぼす自己収縮特性を把握することを目的とし、高温履歴下における自己収縮試験および一軸拘束応力試験を実施した。

2. 実験概要

セメントは、普通ポルトランドセメント (OPC: 密度 3.16g/cm^3 , 比表面積 $3290\text{cm}^2/\text{g}$, SO_3 量: 2.2%), 高炉セメント B 種 (BB: 密度 3.04g/cm^3 , 比表面積 $4080\text{cm}^2/\text{g}$, SO_3 量: 2.2%, スラグ量: 40%) および低発熱・収縮抑制型高炉セメント (LBB: 密度 2.98g/cm^3 , 比表面積: $3380\text{cm}^2/\text{g}$, SO_3 量: 3.8%, スラグ量: 58%) を用いた。コンクリートは、水セメント比を 50%一定とし、目標スランブおよび空気量をそれぞれ $18\pm2.5\text{ cm}$, 空気量 $4.5\pm1.5\%$ とした。圧縮強度試験は、JIS A 1108 に従って行った。養生環境は、標準養生とした。一軸拘束応力試験は、ヤング係数が 150kN/mm^2 , 熱膨張係数が $0.6\times10^{-6}/^\circ\text{C}$ のインバー鋼を用いた拘束ジグ (図-1 参照) により行った。コンクリートに生じる拘束応力は、供試体中央部のインバー鋼のひずみを測定してインバー鋼とコンクリートの力のつり合い条件より算出した。自己収縮試験は JCI 自己収縮研究委員会の方法を参考にして行った²⁾。ただし、ひずみの測定は、埋込型ひずみ計 (弾性係数: 40N/mm^2) により行った。温度補正に用いた熱膨張係数は、同一の配合及び材料を用いた試験結果から $7\times10^{-6}/^\circ\text{C}$ とした。一軸拘束応力試験および自己収縮試験は、最高温度が約 60°C となる温度履歴環境下で実施した (図-2 参照)。温度履歴終了後は、 20°C 一定の環境下で測定を続けた。圧縮クリープ試験は、供試体中央にシース管を通し、供試体両端に鋼板を配置したジグを用いた。鋼板の中央には、PC 鋼材を通すための穴を開けており、そこに PC 鋼棒を通し、材齢 3 日、7 日および 28 日に PC 鋼棒を緊張することでコンクリートに圧縮応力を導入した (図-3 参照)。導入した圧縮応力は、それぞれの材齢における圧縮強度の 1/3 とし、設定値と計測値の差が $\pm 10\%$ 以下となるように適宜再緊張を行った。測定は、 20°C 一定とし、供試体の乾燥を防いで行った。

表-1 コンクリートの配合

目標 スランブ	目標 空気量	セメ ント 区分	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					Ad (C×%)
					W	C	S1	S2	G	
18±2.5 cm	4.5±1.5%	OPC	50	46.1	162	324	662	168	1001	1.0
		BB		45.8	162	324	654	166	1001	1.0
		LBB		46.5	155	310	674	171	1001	1.0

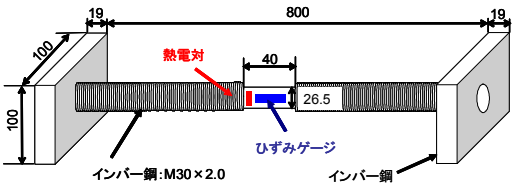


図-1 一軸拘束試験

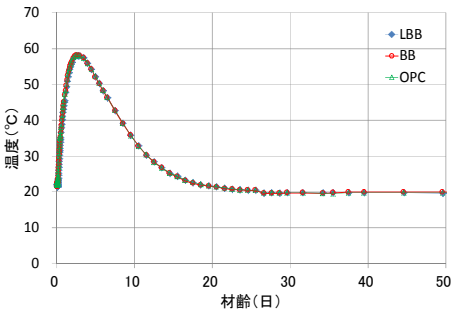


図-2 温度履歴

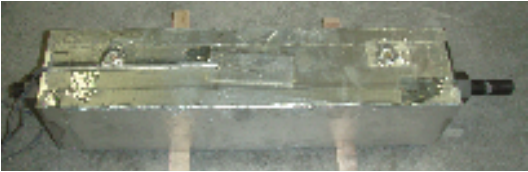


図-3 圧縮クリープ試験

キーワード 一軸拘束応力, 自己収縮, 膨張ひずみ, 高炉セメント, 高温履歴

連絡先 〒210-0854 神奈川県川崎市川崎区浅野町 1 番 17 号 (株) デイ・シイ 技術部 TEL 044-333-0618

3. 結果および考察

図-4 に圧縮強度試験結果を示す。材齢初期では、OPC の圧縮強度が最も大きく、材齢 28 日では、BB が最も大きくなった。

図-5 に自己収縮試験結果を示す。いずれのセメントにおいても材齢初期に膨張ひずみが生じた。SO₃ 量の最も多い LBB は、約 130×10^{-6} の膨張ひずみが生じ、膨張ひずみが最も大きくなった。OPC は、材齢 3 日から材齢 20 日までに再度膨張ひずみが生じた。自己収縮は、BB が最も大きくなった。また、収縮ひずみの挙動に着目すると普通ポルトランドセメントと比べて高炉セメント系は収縮速度が速くなる傾向が認められた。

図-6 に一軸拘束応力の経時変化を示す。セメント種類によらず同一温度履歴で計測した圧縮応力は、OPC および BB は、約 0.9 N/mm^2 となった。それに対し、LBB は約 1.1 N/mm^2 と最も大きな圧縮応力が生じた。したがって LBB に生じる自己膨張ひずみは圧縮応力の増加に寄与していることが認められた。また、LBB の最大圧縮応力が生じる材齢は OPC および BB と比べて若干遅くなった。

温度履歴終了時の引張応力は、BB 約 1.4 N/mm^2 と最大となり、LBB および OPC は、それぞれ、約 0.7 N/mm^2 および約 0.9 N/mm^2 となった。また、材齢 250 日における引張応力は BB で約 1.5 N/mm^2 となり最大となった。LBB および OPC は、それぞれ、約 0.9 N/mm^2 および約 0.8 N/mm^2 となった。OPC は、温度履歴終了時よりも引張応力は小さくなり、クリープにより応力緩和されたと考えられる。一方で高炉セメントは、長期的に引張応力が増加する傾向を示した。

図-7 に単位応力当たりの圧縮クリープひずみを示す。載荷材齢 3 日のクリープひずみは、OPC および BB は同程度であったが、LBB は若干小さくなった。載荷材齢 7 日では、セメント種類の違いによらず同程度であった。載荷材齢 28 日では、セメント種類の違いにより若干の差異が認められた。一軸拘束応力とクリープひずみの関係を明らかにすることが今後の課題である。

4. まとめ

低発熱・収縮抑制型高炉セメント (LBB) の拘束応力に及ぼす自己収縮の影響を検討した。その結果、材齢初期に大きな自己膨張が生じる LBB は、OPC および BB と比べて大きな圧縮応力が生じることが認められた。引張応力は、高温履歴終了時は LBB が最小であったが、長期材齢では OPC と同程度であった。引張応力の挙動は、普通セメントと高炉セメントでは傾向が異なり、自己収縮特性のみならず、クリープ特性の違いも影響があると考えられる。セメント種類が及ぼすクリープ特性の影響を明らかにすることが今後の課題である。

参考文献

- 1) 二戸信和, 廣島明男, 大友健, 宮澤伸吾: スラグ粒度と化学成分の異なる高炉セメント B 種を用いたコンクリートの特性, セメント・コンクリート論文集, No.59, pp.231-238, 2006.2
- 2) 日本コンクリート工学協会: コンクリートの自己収縮研究委員会 報告書, 2002.9

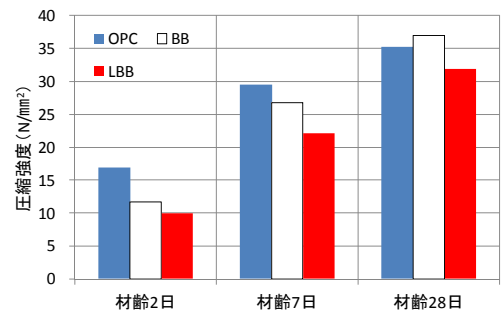


図-4 圧縮強度

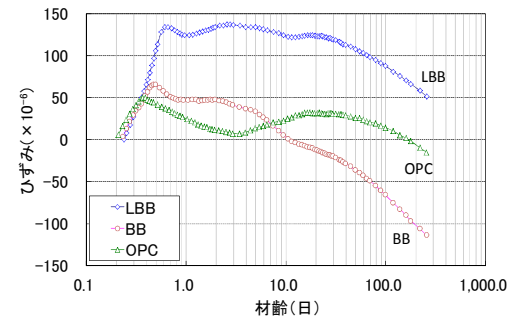


図-5 自己収縮

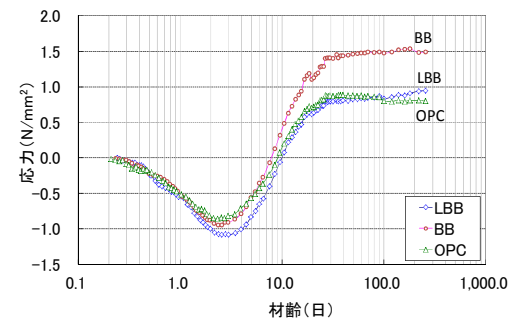


図-6 拘束応力

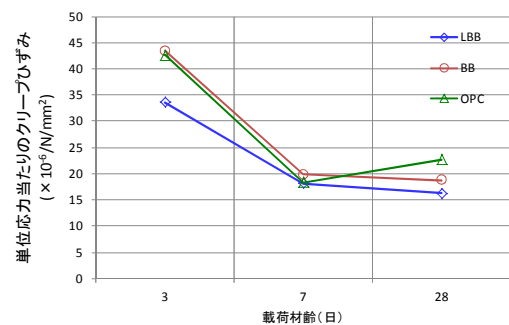


図-7 単位応力当たりの圧縮クリープひずみ