

膨張材による超高強度コンクリートの自己収縮低減効果

太平洋セメント(株) 正会員 ○三谷 裕二 中崎 豪士 谷村 充
名古屋大学大学院 正会員 丸山 一平

1. はじめに

構造物のさらなる長スパン化・軽量化,さらには高耐久化の観点より,最近では100N/mm²超級の超高強度コンクリートの実用化が進展している。一方,このような超高強度コンクリートは自己収縮が顕著に大きく,それに起因したひび割れの可能性が指摘されている¹⁾。高強度コンクリートの自己収縮の低減策として膨張材が有効であることは既に多く報告されているものの,水結合材比(W/B)が20%以下の超高強度領域における作用については不明な点が多い。

本研究では,W/Bが13~20%の超高強度コンクリートについて,実部材内部の温度履歴を模擬した条件下における自己収縮・膨張ひずみおよび応力の挙動を検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

表-1に使用材料,表-2にコンクリートの配合を示す。膨張材には汎用品より比表面積が大きい膨張材を用いた²⁾。W/Bは13,16.5,20%とし,それぞれ膨張材無混和(PL)および膨張材30kg/m³混和(EX)のコンクリートについて検討した。スランプフローがW/B=13%では70±5cm,W/B=16.5,20%では60±5cm,空気量が2.0%以下になるように調整した。

2.2 養生条件

図-1に養生条件を示す。1m角の柱部材の中心部で生じる温度履歴を想定した高温履歴(W/B=13%:90℃履歴,W/B=16.5,20%:80℃履歴),同じく柱部材の表層部の温度履歴を想定した45℃履歴を設けた。また,20℃一定(20℃養生)の条件も実施した。

2.3 試験項目・方法

自己収縮・膨張ひずみおよび自己収縮・膨張応力を検討した。自己収縮・膨張ひずみは,10×10×80cm供試体(封緘)の中心部に設置した低弾性型の埋込み型ひずみ計を用いて測定し,コンクリートの線膨張係数を10×10⁻⁶/℃と仮定して温度ひずみを補正した。

自己収縮・膨張応力については,10×10×80cm断面中心部にPC鋼棒(呼び名17,23,32mm=鋼材比2,3.8,8%)を配置した拘束供試体(封緘)を作製し,鋼棒軸方向の対称面に設けたネジ切削部(幅4mm,深さ3mm,長さ80cm)の中央に貼付したひずみゲージ(事前に温度補正カーブを取得)で鋼棒のひずみを測定した。

また,所定の温度条件下(封緘)における圧縮強度(φ10×20cm)を測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 圧縮強度

図-2に圧縮強度と材齢の関係を示す。材齢3~7日程度までの圧縮強度は,W/B,温度条件によらず,EXの方がPLより高い傾向にあり,これは比表面積が大きく,初期反応性の高い膨張材を適用したためと考えられる。材齢28日の強度はEXとPLでほぼ同等であった。

表-1 使用材料

材料	記号	物理的特性など
セメント	C	シカフェム7 ^{レミックス} セメント/密度:3.07g/cm ³ ,比表面積:6160cm ² /g
膨張材	EX	石灰系膨張材/密度:3.19g/cm ³ ,比表面積:4920cm ² /g
細骨材	S	静岡県掛川市産山砂/表乾密度:2.56g/cm ³ ,吸水率:2.24%
粗骨材	G	茨城県桜川市産砕石/表乾密度:2.64g/cm ³ ,吸水率:0.51%
減水剤	SP	ポリカルボン酸系高性能減水剤

表-2 コンクリートの配合

配合名	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
			W	C	EX	S	G
PL13	13.0	44.5	150	1154	-	349	840
EX13			150	1124	30	349	
PL16.5	16.5	38.7	155	939	-	515	
EX16.5			155	909	30	516	
PL20	20.0	30.0	155	775	-	652	
EX20			155	745	30	653	

※B=C+EX, 単位粗骨材かさ容積=0.53m³/m³

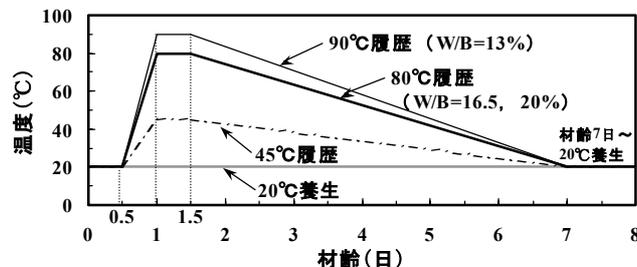


図-1 養生条件

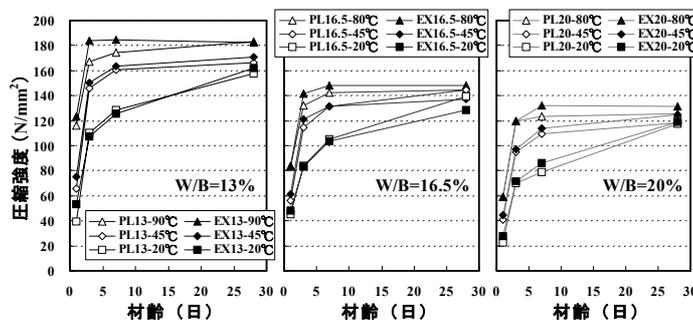


図-2 圧縮強度

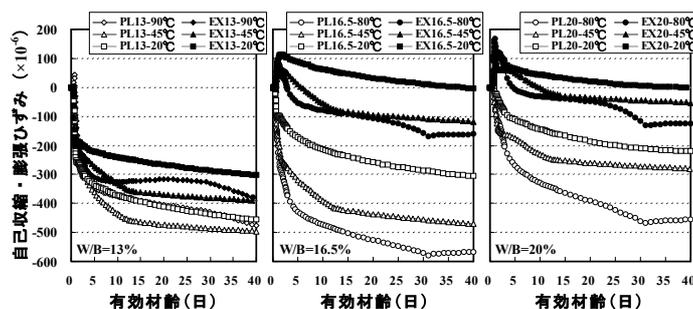


図-3 自己収縮・膨張ひずみと有効材齢の関係

キーワード: 超高強度コンクリート, 膨張材, 自己収縮, 温度依存性, 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

3.2 自己収縮・膨張ひずみ

図-3 に自己収縮・膨張ひずみと有効材齢の関係を示す。ひずみの起点は凝結始発とした。膨張材の有無に拘わらず、初期に高い温度履歴を受けるほど、膨張・収縮の速度が大きくなり、最終値も異なることから、有効材齢で一義的に表現することは難しいことが分かる。

EX と PL を比較すると、いずれの W/B、養生条件においても、EX の自己収縮ひずみが PL より小さくなっており、高温履歴下においても膨張材の自己収縮低減効果が明確に生じている。

図-4 に有効材齢 40 日における、EX の PL に対する自己収縮ひずみの低減率を示す。膨張材による自己収縮低減率は、高温履歴において、W/B=13, 16.5, 20%でそれぞれ 100, 400, 330×10⁻⁶程度であり、16.5%の場合に最も低減率が大きかった。また、20℃養生では、150, 300, 220×10⁻⁶程度であり、W/B=16.5, 20%においては、高温履歴下の自己収縮低減量が、20℃養生の場合より大きかった。EX の PL に対する自己収縮ひずみの低減率（低減量/PL の自己収縮ひずみ）で見ると、履歴養生下の低減率は W/B=13, 16.5, 20%でそれぞれ約 20, 70~75, 70~80%であり、80・90℃履歴と 45℃履歴では大差なかった。また、20℃養生においては約 35, 98, 98%であり、履歴養生下より大きい傾向があった。

3.3 自己収縮・膨張応力

図-5 に、一例として鋼材比 3.8%における自己収縮・膨張応力と有効材齢の関係を示す（応力の起点は凝結始発）。自己収縮・膨張応力は鋼材のひずみを基に、鋼材とコンクリートの力の釣合いより算出した。膨張材の有無に拘わらず、W/B が低いほど、また初期に高い温度履歴を受けるほど、大きな引張応力を生じた。

図-6 には有効材齢 40 日における EX の PL に対する自己収縮応力の低減率を示す。低減率は、W/B に拘らず、鋼材比 2, 3.8, 8%でそれぞれ 0.5~1.0, 0.7~1.5, 1.2~1.8N/mm²程度であり、膨張材による明らかな低減効果が認められた。また、養生条件で比較すると、低減率には、概ね 80・90℃履歴 > 20℃養生 > 45℃履歴の傾向が見られた。

自己収縮応力の低減率（低減量/PL の自己収縮・膨張応力）は、W/B および鋼材比の組合せにおいて一定の傾向が見られないものの、温度履歴下において、W/B=13, 16.5, 20%でそれぞれ 30~45, 55~70, 50~75%程度であった。

図-7 は、拘束の有無による膨張材の効果を検討するために、自己収縮応力の低減率と自己収縮ひずみの低減率の関係を示したものである。W/B=16.5, 20%では、養生条件および鋼材比に拘らず、自己収縮ひずみの低減率が自己収縮応力の低減率より 0~30%程度大きい傾向が見られた。一方、W/B=13%の場合は、自己収縮応力の低減率の方が大きい傾向にあり、W/B によって異なる傾向が認められた。これより、自己収縮ひずみの低減率と自己収縮応力の低減率は 1:1 の関係にはなく、実 RC 部材で生じる応力挙動をひずみ挙動から一義的に評価することは難しいことが分かる。

4. まとめ

超高強度コンクリートに膨張材を混和することにより、実部材を想定した温度履歴を与えた条件下において、自己収縮ひずみ、さらには拘束下で生じる自己収縮応力を明らかに低減する効果を有することが明らかとなった。

参考文献

- 丸山一平ほか：超高強度コンクリートを用いた RC 部材中の鉄筋近傍における微細ひび割れの発見，日本建築学会構造系論文集，第 617 号，pp.1-7, 2007.7
- 谷村充ほか：超高強度コンクリートの自己収縮制御における膨張材の適用性，土木学会第 64 回年次学術講演会，v -442, pp.881-882, 2009.9

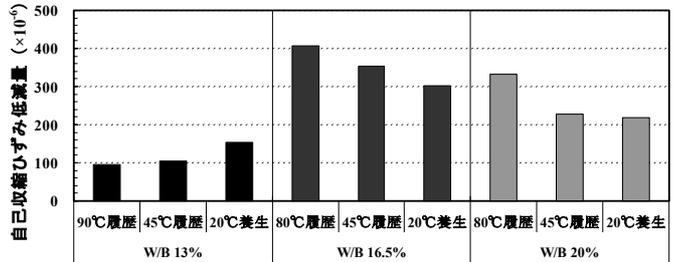


図-4 自己収縮ひずみの低減量

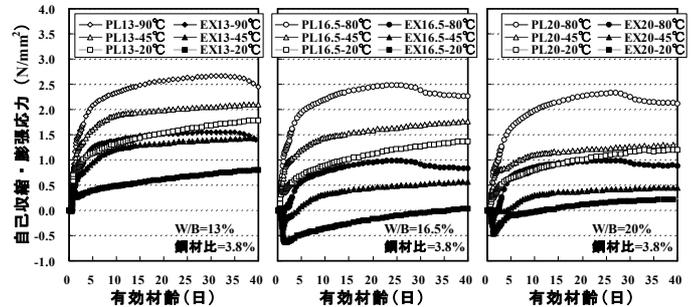


図-5 自己収縮・膨張応力と有効材齢の関係 (鋼材比 3.8%)

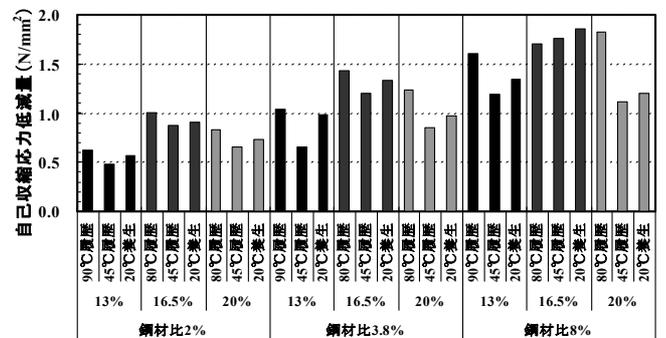


図-6 自己収縮応力の低減量

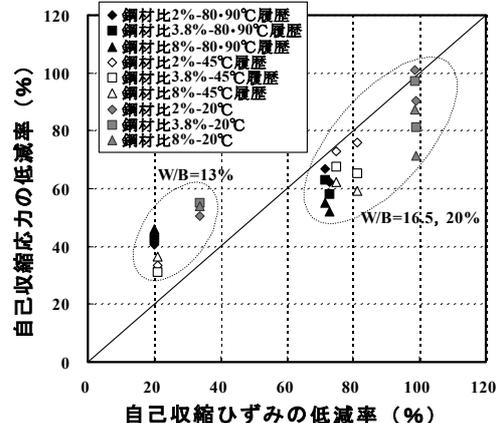


図-7 低減率の比較(ひずみ・応力)