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

太平洋セメント(株)　正会員　○谷村　充
太平洋セメント(株)　正会員　藤田　仁
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　兵頭　彦次
太平洋マテリアル(株)　正会員　郭　度連

1．はじめに

近年，圧縮強度 150N/mm^2 級の超高強度コンクリートが実用化されてきた。この種の水結合材比が極端に小さいコンクリートでは自己収縮の影響が無視し得なくなるため，その制御対策を併せて検討するケースが増えている。膨張材が自己収縮補償に効果的なことは既に知られているが，水結合材比が 20%よりも小さい領域の超高強度コンクリートへの適用性については十分な知見がない。本研究では，著者らの既往の研究[1)]に長期材齢のデータを追加するとともに，膨張材を用いた超高強度コンクリートの鉄筋拘束応力について実験的に検討した。

2．試験概要

使用材料およびコンクリートの配合を**表-1** および**表-2** に示す。膨張材は比表面積の異なる 2 種類を用い，使用量を 20kg/m^3（普通強度コンクリートの標準使用量）～40kg/m^3 に変化させた。コンクリートのフレッシュ性状は，スランプフロー : 65±10cm，空気量 : 2%以下とした。試験項目は，自己収縮ひずみ(寸法 : 100×100×400mm または 100×100×800mm，測定方法 : 測温機能付き埋込み型ひずみ計)，自己収縮応力(寸法 : 100×100×800mm，鋼材比 : 3.5%，PL と EXⅡ-30 について実施)，および圧縮強度(φ100×200mm，封緘養生)とした。養生は 20℃封緘を基準とし，自己収縮応力試験では簡易断熱養生(**図-1**)についても検討した。なお，自己収縮ひずみは，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の補正を行い求めた。

表-1　使用材料

材料	記号	種類/物性
シリカフュームプレミックスセメント	SFPC	密度3.07g/cm^3，比表面積6160cm^2/g
膨張材	EXⅠ	石灰系、密度3.16g/cm^3，比表面積3280cm^2/g
	EXⅡ	石灰系、密度3.19g/cm^3，比表面積4920cm^2/g
粗骨材	G	桜川産砕石2005，密度2.64g/cm^3，吸水率0.67%，F.M.6.74
細骨材	S	掛川産山砂，密度2.61g/cm^3，吸水率1.66%，F.M.2.88
混和剤	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

記号	W/(SFPC+EX)(%)	単位量(kg/m^3)						SP/(SFPC+EX)(%)
		W	SFPC	EXⅠ	EXⅡ	S	G	
PL	16.5	155	939	-	-	524	840	0.80
EXⅠ-20			919	20	-	525		0.85
EXⅠ-40			899	40	-	525		0.90
EXⅡ-20			919	-	20	525		0.85
EXⅡ-30			909	-	30	525		0.90
EXⅡ-40			899	-	40	526		0.95

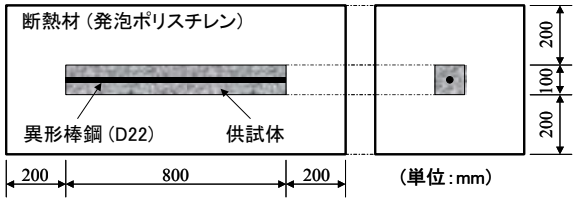

図-1　簡易断熱養生供試体

3．実験結果および考察

(1) 自己収縮制御に及ぼす膨張材の効果

膨張材 EXⅡを用いた 100×100×400mm 供試体の自己収縮・膨張ひずみの測定結果を**図－2** に示す。PL の自己収縮は，材齢 400 日で約 430×10^{-6} に達した。一方，膨張材の使用により，20kg/m^3 添加 : 約 30×10^{-6}，30 kg/m^3 添加 : 約 140×10^{-6}，40 kg/m^3 添加 : 約 330×10^{-6} の膨張を生じており，明らかな自己収縮補償効果が発揮された。材齢 400 日の時点では，20kg/m^3 添加 : 約 200×10^{-6}，30 kg/m^3 添加 : 約 50×10^{-6} の自己収縮ひずみに止まり，40 kg/m^3 添加 : 約 200×10^{-6} の膨張ひずみが残留しており，収縮に転じてからのひずみの勾配は膨張材の使用量が多いほど幾らか緩やかになる傾向が認められる。なお，PL の自己収縮ひずみは，普通セメントを用いた W/C=30%程度の高強度コンクリート(圧縮強度 80N/mm^2 級)と同程度の大きさであり，W/B=16.5%の結果としては小さいレベルに止まっている。この理由は，

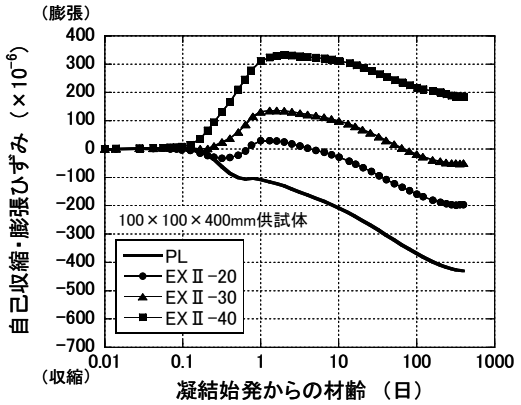

図-2　自己収縮・膨張ひずみ

キーワード：超高強度コンクリート，膨張材，自己収縮，比表面積
〒285-8655　千葉県佐倉市大作 2-4-2　太平洋セメント中央研究所　TEL043-498-3804

SFPC が低発熱系のセメントと比表面積の小さいシリカフュームを基材として製造されたプレミックスセメントであることによると思われる。

(2) 膨張材の効果に及ぼす養生条件の影響

膨張材 EXⅡを 30kg/m^3 使用した 100×100×800mm 供試体の自己収縮・膨張ひずみおよび自己収縮・膨張応力と有効材齢の関係を**図−3** および**図−4** に示す。自己収縮・膨張応力は，鉄筋とコンクリートの力の釣合いより算出した。なお，簡易断熱養生供試体の中心部の最高温度は，PL：材齢0.9 日で 55.7℃, EXⅡ-30：材齢0.75 日で 58.3℃であった。

図−3 および**図−4** より，ひずみおよび応力の発現傾向は20℃と簡易断熱養生で大きく異なった。簡易断熱養生の場合, 収縮の進行が速く, 早期に収斂する傾向が認められる。有効材齢約 100 日での収縮ひずみ・引張応力は簡易断熱養生の方が 20℃養生よりも大きくなった(収縮ひずみの増大：約 50×10^{-6}，引張応力の増大：約 0.3N/mm^2)。一方，膨張材の効果に着目すると，膨張ひずみ・膨張応力は簡易断熱養生の方が 20℃養生よりも小さくなるが, PL との差は養生条件によらずほぼ保持されており(ひずみの低減：約 400×10^{-6}，引張応力の低減：約 1.3N/mm^2)，膨張材は高温度履歴を受ける条件でも有効に作用している。なお，PL について, 簡易断熱養生の引張応力が 2N/mm^2 近くまで達した後に低下する現象が生じた。これは，ひび割れ発生によるものと思われ，高温度履歴を受けた場合には収縮が加速されるため，ひび割れ発生の危険性が高まることを示唆している。

(3) 膨張材の種類による影響

膨張材 EXⅠを用いたコンクリートの自己収縮・膨張ひずみを EXⅡの場合と比較して**図−5** に示す。EXⅠの 20 kg/m^3 添加は，EXⅡ-20 と同等の膨張・収縮性状を示した。その反面, EXⅠ-40 は, 材齢 35 日頃から再び大きな膨張(以下，再膨張）を生じており，EXⅡとはひずみの発現傾向が明らかに異なる。再膨張の生じる原因の究明は今後の課題であるが，超高強度コンクリートに特有の現象であることから，水和に必要な水が不足し，未水和の膨張材が残存していることが関係しているものと思われる。

封緘養生供試体の圧縮強度の試験結果を**図−6** に示す。EXⅠ-40 は再膨張を生じた材齢 28 日と 91 日の間で強度の低下が認められ, 材齢440 日では大幅な強度低下を生じた。その反面，EXⅡの圧縮強度は 40 kg/m^3 添加でも PL と遜色なく，今後も再膨張を生じる可能性は低いと考えられる。

4．まとめ

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を検討した結果，比表面積を高めた膨張材の有効性が明らかとなった。

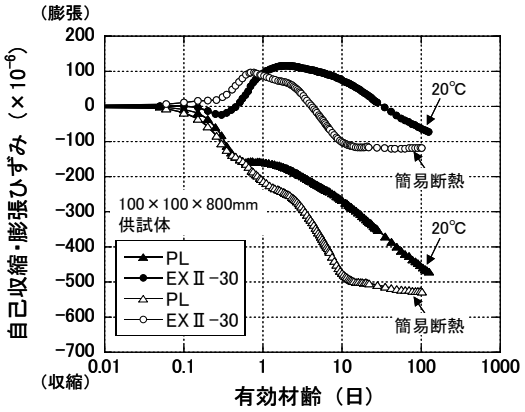

図-3 養生条件が自己収縮・膨張ひずみに及ぼす影響

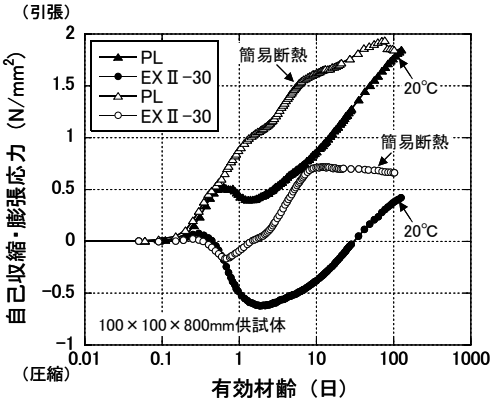

図-4 養生条件が自己収縮・膨張応力に及ぼす影響

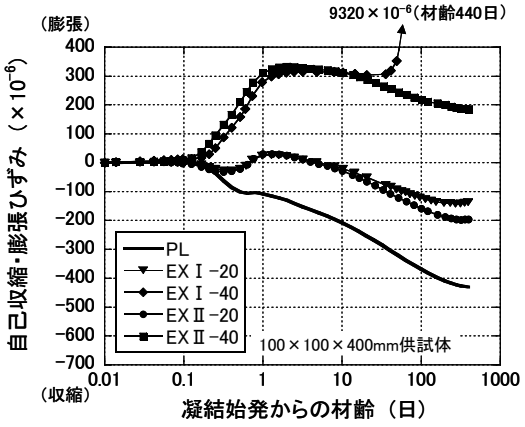

図-5 自己収縮・膨張ひずみにおけるEXⅠとEXⅡの比較

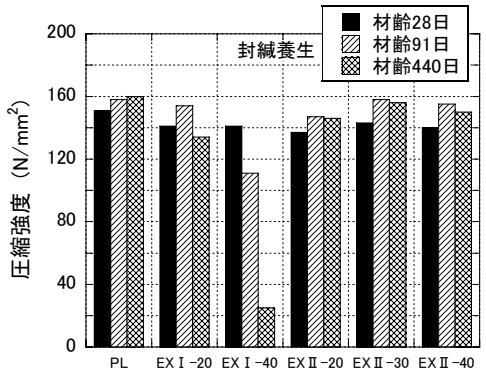

図-6 圧縮強度の試験結果

【参考文献】

1) 谷村充ほか：膨張材を用いた超高強度コンクリートの基礎性状，土木学会第 62 回年次学術講演会，5-563，pp.1125-1126，2007