

## 収縮低減効果を有する混和剤を用いたコンクリートの特性

三井住友建設(株) 正会員 博士(工学) ○谷口 秀明  
三井住友建設(株) 正会員 修士(工学) 佐々木 亘  
三井住友建設(株) 正会員 博士(工学) 樋口 正典

Abstract : This report describes the quality of the concrete mixed with chemical admixture for reducing shrinkage. Besides shrinkage reducing agent, the AE water reducing agents or plasticizers which premixed shrinkage reducing agent were used in the experiments. The shrinkage of concrete was greatly different depending on the kind of the admixture used. A part of admixture decreased compressive strength of concrete in the maximum by about 20% and relative dynamic Young's modulus of concrete immediately after the freezing and thawing test began. The importance of pre-confirmation of the influence of chemical admixture for reducing shrinkage was suggested.

Key words : Shrinkage Reducing Agent, Compressive Strength, Shrinkage, Freezing and Thawing Action

### 1. はじめに

コンクリート構造物を長期的に供用するためには、ひび割れの発生を抑制し、発生後にはその幅を制御することが重要である。最近では、天然骨材の品質低下に起因するコンクリートの収縮ひずみの増加が問題となり、この問題の収束に向けた学協会の活動が活発になっている<sup>たとえば, 1)</sup>。その対策の一つとして、膨張材や収縮低減剤等の収縮低減材料を単独もしくは複数組み合わせて使用する方法があり、様々なコンクリート構造物に適用されつつある<sup>2)</sup>。最近では、あらかじめ収縮低減成分を含む AE 減水剤もしくは高性能 AE 減水剤も開発されている。しかし、収縮低減剤あるいはこの成分を含む混和剤およびこれを用いたコンクリートの品質については、必ずしも明確になっていないのが現状である。

そこで、本研究では、収縮低減効果を持つ各種混和剤（以下、総称として収縮低減材料と呼ぶ）を用いたコンクリートの圧縮強度、収縮および凍結融解抵抗性に及ぼす影響について確認した。

### 2. 実験概要

#### 2.1 コンクリートの条件

コンクリートの使用材料を表-1、配合条件と空気量の試験値を表-2に示す。評価の対象は、設計基準強度 40N/mm<sup>2</sup>程度の PC 橋上部構造を対象とした配合（PC 配合と呼ぶ）と、設計基準強度 24～27N/mm<sup>2</sup>程度の RC 部材に使用される配合（RC 配合と呼ぶ）の 2 種類のコンクリートである。セメントは、それぞれのコンクリートに対して、早強ポルトランドセメント、普通ポルトランドセメントを使用した。使用した骨材は、筆者らが通常実験で使用している骨材（SA と GA の組合せ。以下、骨材 A と呼ぶ）以外に、RC 配合では某レディーミクストコンクリート工場で使用されていて、コンクリートの収縮が比較的大きくなる骨材（SB と GB の組合せ。以下、骨材 B と呼ぶ）を使用した。

骨材 A を使用した場合には、水セメント比を PC 配合では 40%、RC 配合では 55%とした。骨材 B は RC 配合を評価対象としたが、これを用いたコンクリートは、収縮低減材料を使用しなくても、凍結融解試験の 300 サイクル後の相対動弾性係数が 60%程度となり、収縮低減材料の影響が明確にならない可能性があったため、骨材 A よりも水セメント比を 5%小さくした。

PC 配合では高性能 AE 減水剤を、RC 配合では AE 減水剤または高性能 AE 減水剤を使用した。AE 減水剤および高性能 AE 減水剤は、収縮低減剤を含むもの（表中の記号に RS を付けたもの、各 2 銘柄）と含まないものを使用した。それぞれの使用量は、混和剤メーカーが示す標準使用量の範囲を参考とし、単位水量を 165 または 170kg/m<sup>3</sup> とした場合のスランプが 12～15cm 程度となるように調整した。また、収縮低減剤を含まない AE 減水剤および高性能 AE 減水剤に対して収縮低減剤 (RSA, RSB の 2 銘柄) を添加し、その効果を確認した。収縮低減剤の使用量は、混和剤メーカーが示す範囲の中心値を採用した。

空気量の目標値は 4.5±約 0.5% とし、AE 剤をよって調整した。実測の空気量は、表中に示すとおり、その範囲を満足するものである。

2.2 コンクリートの品質評価試験

本実験では、圧縮強度、収縮および凍結融解抵抗性に関する試験を実施した。

圧縮強度試験は、JIS A 1108 に準拠し、標準水中養生を施した材齢 7, 28 日の円柱供試体 (φ100×200mm) を用いた。

収縮は、自己収縮と乾燥収縮の双方を測定した。いずれも、供試体には 100×100×400mm の直方体を使用した。自己収縮試験では、(社)日本コンクリート工学会「高流動コンクリートの自己収縮試験方法」に準拠し、埋込みひずみ計で自己収縮ひずみを測定した。一方、乾燥収縮試験においては、JIS A 1129-2 (コンタクトゲージ法) および JIS A 1129-3 (ダイヤルゲージ法) に準拠し、2 方法で乾燥収縮ひずみ (長さ変化率) を測定した。供試体は、材齢 7 日間の水中養生を行った後、恒温恒湿室 (温度 20℃, 相対湿度 60%) 内で 182 日まで供試体 6 面を乾燥させた。

凍結融解試験では、JIS A 1148 に準じ、100×100×400mm の供試体を用いて動弾性係数を測定した。試験方法の種類は A 法、試験開始までの供試体の養生期間は 28 日とした。

表-1 使用材料

材料名	種類, 物性, 成分	記号	
水	水道水	W	
セメント	早強ポルトランドセメント (密度3.13g/cm <sup>3</sup> )	H	C
	普通ポルトランドセメント (密度3.15g/cm <sup>3</sup> )	N	
細骨材	山砂(表乾密度2.59g/cm <sup>3</sup> , 吸水率2.56%)と砕砂(表乾密度2.62g/cm <sup>3</sup> , 吸水率1.47%)を4:6の容積割合で混合	SA	S
	陸砂(細目, 表乾密度2.60g/cm <sup>3</sup> , 吸水率1.33%)と陸砂(粗目, 表乾密度2.63g/cm <sup>3</sup> , 吸水率1.51%)を4:6の容積割合で混合	SB	
粗骨材	砕石2005(硬質砂岩, 密度2.65g/cm <sup>3</sup> , 吸水率0.82%)	GA	G
	砕石2013(密度2.68g/cm <sup>3</sup> , 吸水率1.51%)と砕石1305(密度2.69g/cm <sup>3</sup> , 吸水率2.00%)を6:4の容積割合で混合	GB	
混和剤	AE減水剤 (リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体)	WAE	WAE
	AE減水剤 (オキシカルボン酸塩、ポリカルボン酸系化合物とグリコールエーテル系誘導体)	WAERS1	
	AE減水剤 (ポリカルボン酸エーテル系化合物とポリグリコール誘導体の複合体)	WAERS2	
	高性能AE減水剤(ポリカルボン酸エーテル系化合物)	SP	SP
	高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系化合物とグリコールエーテル系誘導体)	SPRS1	
	高性能AE減水剤(ポリカルボン酸エーテル系化合物とポリグリコール誘導体の複合体)	SPRS2	
	収縮低減剤(低級アルコールのアルキレンオキシド付加物)	RSA	RS
	収縮低減剤(炭化水素系化合物グリコールエーテル系誘導体)	RSB	
AE剤	AE		

表-2 配合条件および空気量の試験値

配合の区分	記号	水セメント比, W/C (%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	セメントの種類	骨材の種類	AE減水剤または高性能AE減水剤		収縮低減剤		空気量の試験値 (%)
						種類	使用量(C×%)	種類	使用量 (kg/m <sup>3</sup> )	
P C 配合	H40	40	165	H	A	SP	0.8	-	-	5.0
	H40-SPRS1					1.4	4.5			
	H40-SPRS2					1.5	5.0			
	H40-RSA					SP	0.7	RSA	6.0	4.8
R C 配合	N55	55	165	N	A	WAE	1.0	-	-	4.6
	N55-WAERS1					1.7	4.5			
	N55-WAERS2					1.6	4.8			
	N55-SPRS1					1.2	5.1			
	N55-SPRS2	1.2	4.2							
	N55-RSA	WAE	0.8	RSA	6.0	4.8				
	N55-RSB	WAE	0.8	RSB	8.0	4.2				
	N50B	50	170	N	B	WAE	1.4	-	-	4.4
N50B-WAERS1	1.7					4.9				
N50B-WAERS2	1.8					5.0				

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 圧縮強度

収縮低減材料を使用したコンクリートの圧縮強度比を、図-1に示す。ここで、圧縮強度比とは、材齢ごとに収縮低減材料を使用したコンクリートの圧縮強度を、これを使用しないコンクリート（表-1中のH40、N55およびN50B）の圧縮強度で除した値である。

図-1に示すとおり、PC配合（H40シリーズ）の圧縮強度比は、いずれの収縮低減材料を使用した場合も1.0を下回っておらず、混和剤が圧縮強度に及ぼす影響は認められない。

一方、RC配合においては、使用した収縮低減材剤の種類によって圧縮強度への影響の度合いが大きく異なる。収縮低減型AE減水剤WAERS1とWAERS2は、配合N55シリーズと

N50Bシリーズに対して使用している。圧縮強度比はいずれも材齢7日に比べて材齢28日の方が小さいため、収縮低減型AE減水剤は初期強度よりも長期強度に影響を及ぼす傾向がある。特に、N50B-WAERS2における材齢28日の圧縮強度比は0.90まで低下している。

RC配合に対して収縮低減型高性能AE減水剤を使用した場合、SPRS2の圧縮強度比は、SPRS1に比べて2材齢ともに低下する傾向がある。同じ骨材Aを使用した配合H40-SPRS2の結果と比べると、SPRS2は水セメント比が大きい場合に圧縮強度を若干低下させる可能性がある。収縮低減型AE減水剤または収縮低減型高性能AE減水剤は、圧縮強度比への影響が小さいものであっても、±5%程度の変化を招くようである。

前述のとおり、PC配合（H40シリーズ）では圧縮強度比への影響が認められない収縮低減剤RSAを配合N55シリーズに用いると、圧縮強度比は材齢7日では0.81、28日では0.85となり、大幅な低下が認められた。同じ配合であっても収縮低減剤RSBを使用した場合の圧縮強度比は1.0を上回る。また、収縮低減剤は、収縮低減型AE減水剤とは反対に、材齢7日より28日の圧縮強度比が高く、初期強度への影響の度合いが大きい。

以上のとおり、収縮低減材料の使用がコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響の度合いは様々であり、その中には圧縮強度を大幅に低下させるものも存在する。また、圧縮強度の低下が数%であっても、セメント水比と圧縮強度の関係式から水セメント比を決定する場合、既存の関係式をそのまま適用できない可能性がある。したがって、収縮低減材料が圧縮強度に及ぼす影響を事前に確認したうえで使用することが望ましい。

#### 3.2 収縮

自己収縮ひずみの測定結果を、図-2に示す。図中には、参考として、JCIひび割れ制御指針の計算式<sup>3)</sup>で求めた自己収縮ひずみの曲線を示した。なお、単位セメント量が少ないN55シリーズは、評価の対象外とした。

PC配合（H40シリーズ）において、収縮低減型高性能AE減水剤(SPRS1, SPRS2)を使用したコンクリートの自己収縮ひずみは、いずれも通常の高性能AE減水剤を使用したコンクリート（配合H40）とほぼ一致しており、それらは自己収縮を低減させる効果を有しない。一方、収縮低減剤RSAを使用した場合には、配合H40の0.63倍にまで自己収縮ひずみを低下できることがわかる。

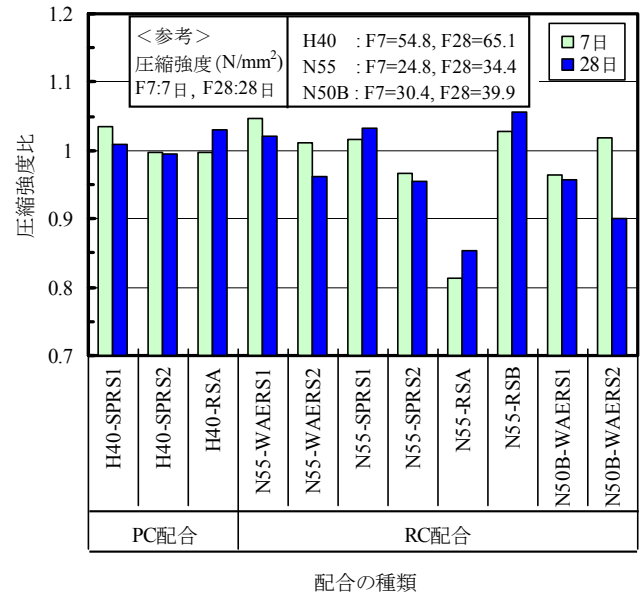


図-1 配合の種類と圧縮強度比の関係

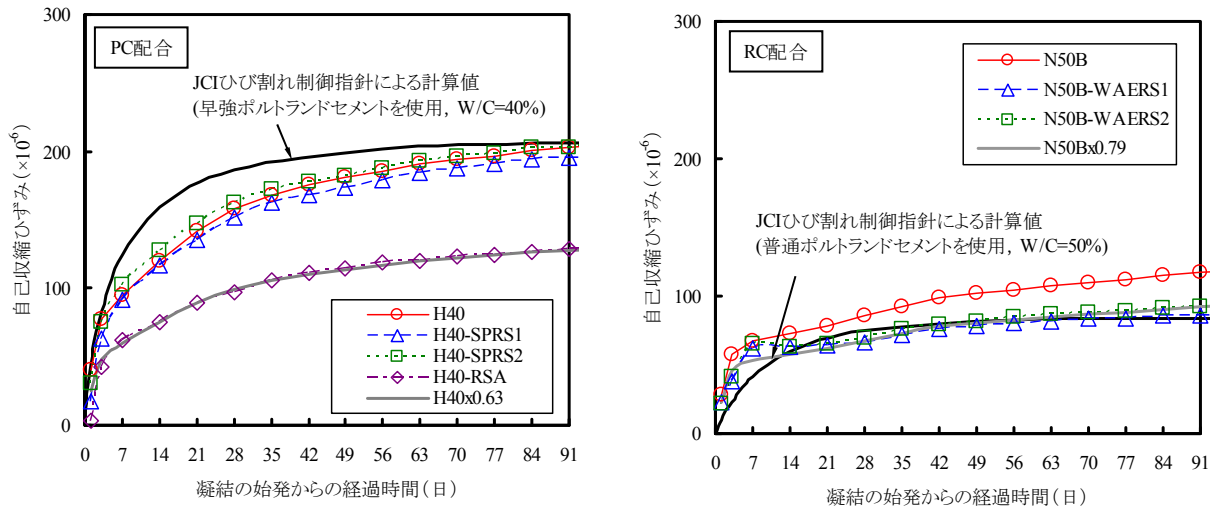


図-2 自己収縮ひずみの経時変化

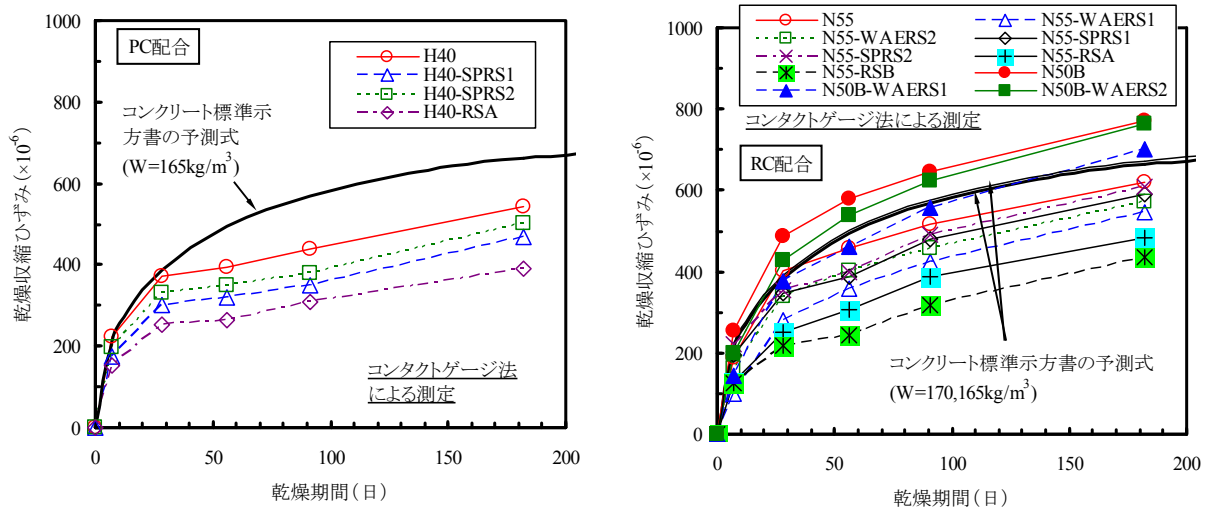


図-3 乾燥収縮ひずみの経時変化

RC 配合 (N50B シリーズ) においては、2 種類の収縮低減型 AE 減水剤 (WAERS1, WAERS2) を用いて、自己収縮ひずみの低減効果を比較した。図-2 に示すとおり、それらを使用したコンクリートの自己収縮ひずみは、種類の違いによる効果の差異は認められないが、通常の AE 減水剤を使用したコンクリート (配合 N50B) の約 0.79 倍に相当する。

乾燥収縮ひずみの測定結果を、図-3 に示す。図中には、参考としてコンクリート標準示方書の計算式<sup>4)</sup>で求めた乾燥収縮ひずみの曲線を示している。また、表-3 には、乾燥期間が 28, 91 および 182 日における乾燥収縮ひずみ比を示した。ここで、乾燥収縮ひずみ比とは、前述の圧縮強度比と同様に、収縮低減材料を使用したコンクリートの乾燥収縮ひずみをこれを使用しないコンクリートの乾燥収縮ひずみで除した値である。さらに、表-3 に示す乾燥収縮ひずみ比を用いて、混和剤の種類ごとに整理 (複数の配合で結果があるものは平均) して乾燥期間と乾燥収縮ひずみ比の関係を表したものが、図-4 である。

乾燥収縮ひずみの低減効果は、使用する収縮低減材料の種類によって大きく異なるが、収縮低減型の AE 減水剤および高性能 AE 減水剤はコンクリートの乾燥収縮ひずみを大幅に低減するものではなく、収縮低減剤を使用したほうが、それらの混和剤を使用した場合よりも乾燥収縮ひずみの低減効果ははるかに大きい。



表-3 乾燥収縮ひずみ比の結果

測定方法		コンタクトゲージ法			ダイヤルゲージ法		
乾燥期間 (日)		28	91	182	28	91	182
P C 配合	H40-SPRS1	0.81	0.80	0.86	0.74	0.80	0.84
	H40-SPRS2	0.89	0.87	0.92	0.80	0.85	0.88
	H40-RSA	0.68	0.70	0.72	0.60	0.70	0.73
R C 配合	N55-WAERS1	0.70	0.83	0.88	0.74	0.83	0.91
	N55-WAERS2	0.84	0.89	0.92	0.90	0.95	0.99
	N55-SPRS1	0.87	0.93	0.95	/	/	/
	N55-SPRS2	0.89	0.95	0.98	/	/	/
	N55-RSA	0.62	0.75	0.78	0.63	0.76	0.79
	N55-RSB	0.54	0.62	0.70	0.53	0.65	0.71
	N50B-WAERS1	0.77	0.86	0.91	0.84	0.92	0.99
	N50B-WAERS2	0.88	0.97	0.99	0.90	1.00	1.02

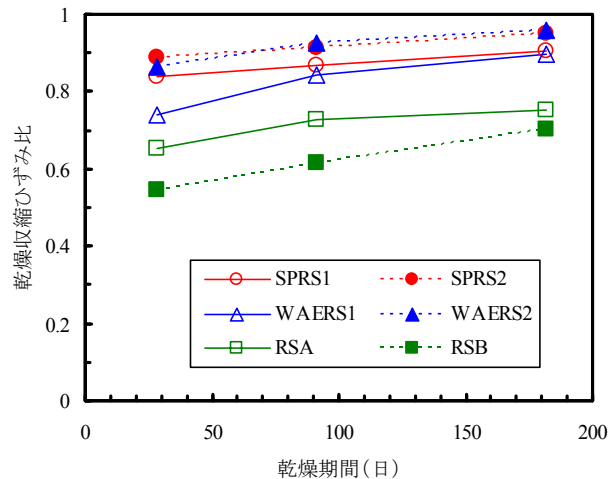


図-4 乾燥収縮ひずみ比の経時変化

いずれの収縮低減材料を使用した場合にも、乾燥期間が短いほど、乾燥収縮ひずみ比は小さい。このため、コンクリート標準示方書<sup>5)</sup>で評価の対象としている乾燥期間6ヶ月(182日)の乾燥収縮ひずみは、収縮低減剤の使用により30%程度低減できるが、収縮低減型のAE減水剤および高性能AE減水剤の使用により大幅に低減するのは難しく、低減効果が高いものであっても、乾燥収縮ひずみの低減比率は10%程度である。したがって、収縮低減型のAE減水剤および高性能AE減水剤は、比較的初期材齢に発生する乾燥収縮ひずみを抑制し、表面ひび割れの低減を図る目的で使用するのが良いが、拘束が大きい場合や過大な収縮を生じる骨材を使用する場合等には、収縮低減剤を使用して積極的に収縮低減を図る必要があると思われる。

筆者ら<sup>6)</sup>は、乾燥収縮ひずみが測定方法によって異なることを実験により確認している。表-3に示す乾燥収縮ひずみ比の結果においても同様の傾向が認められるため、収縮低減材料の収縮効果の評価においては、乾燥収縮ひずみの測定方法を明確に示す必要がある。

### 3.3 凍結融解抵抗性

凍結融解試験の結果を、図-5に示す。なお、今回の実験では、N55-WAERS2およびN55-RSBの測定は行っていない。

一般に凍結融解抵抗性を有するためには、300サイクルの相対動弾性係数が60%以上であることが要求される。水セメント比が小さいPC配合(H40シリーズ)においては、収縮低減型高性能AE減水剤SPRS2を用いた場合を除き、相対動弾性係数は300サイクルまで100%近くの値を示している。

RC配合の配合N55シリーズにおいて、収縮低減材料を使用しない配合N55の300サイクルの相対動弾性係数は約95%であるが、何らかの収縮低減材料を使用した配合ではこれよりも低下している。また、収縮低減型のAE減水剤WAERS1と高性能AE減水剤SPRS1を使用した場合には相対動弾性係数に及ぼす影響は小さいが、収縮低減型高性能AE減水剤SPRS2を使用した場合には300サイクルの相対動弾性係数が53%、収縮低減剤RSAを使用した場合には20サイクル程度で60%未満に低下している。収縮低減剤RSAの影響については、PC配合とRC配合で全く異なる結果であり、水セメント比が大きなコンクリートで使用する場合には注意する必要があるようである。

なお、骨材の品質が悪いN50Bシリーズでは、通常のAE減水剤を用いたコンクリート(N50B)の相対動弾性係数に対して、収縮低減型AE減水剤WAERS1を使用した場合には若干低下し、WAERS2を使用した場合には若干増加した。

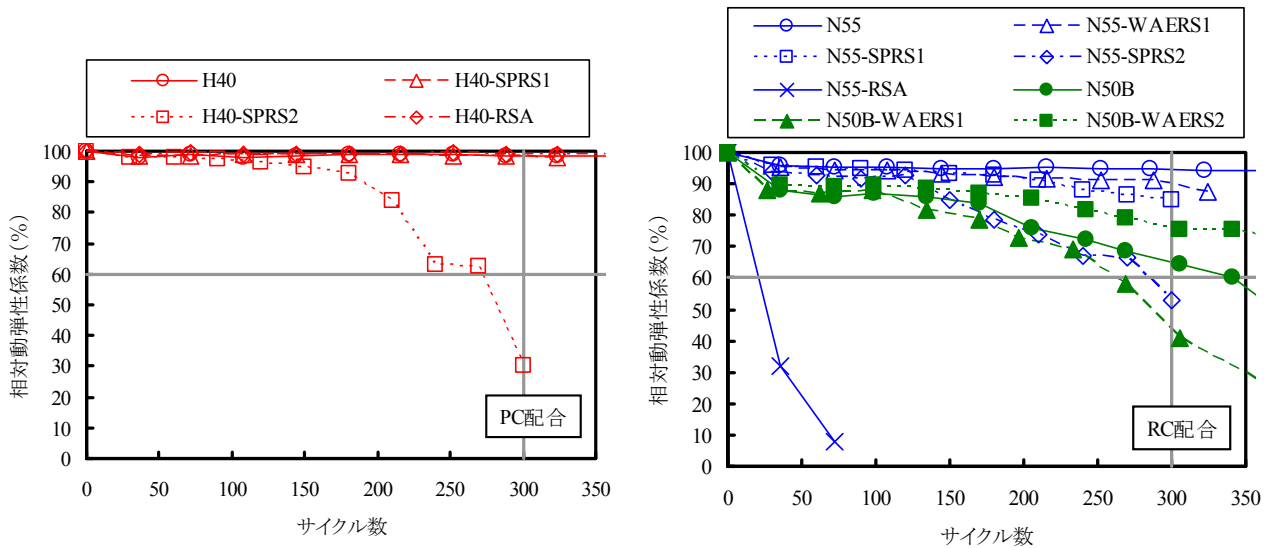


図-5 凍結融解試験の結果

#### 4. まとめ

各種収縮低減材料がコンクリートの品質に及ぼす影響を確認した結果、今回の実験の範囲では、以下のことが明らかになった。

- (1) 収縮低減材料を使用したコンクリートの圧縮強度は、これを用いないコンクリートの圧縮強度と同程度になる場合と、最大で80%程度まで低下する場合がある。
- (2) 収縮低減型の高性能 AE 減水剤および AE 減水剤はコンクリートの自己収縮ひずみを低減する効果が比較的小さいが、収縮低減剤には PC 配合コンクリートの自己収縮ひずみを65%程度に低減できるものがある。
- (3) 収縮低減型の AE 減水剤および高性能 AE 減水剤は、収縮低減剤に比べて乾燥収縮ひずみの低減効果が相当に小さい。また、いずれの収縮低減材料を使用した場合にも、乾燥期間が短いほど、乾燥収縮ひずみの低減効果は高くなる。
- (4) PC 配合では、一部の収縮低減型高性能 AE 減水剤を用いた場合を除き、収縮低減材料が凍結融解抵抗性に影響を及ぼす影響は小さい。一方、RC 配合では、収縮低減材料を使用したコンクリートは、これを用いないコンクリートに比べて相対動弾性係数が低下する傾向があり、その種類によっては試験開始直後から急激に低下するものも存在する。

このように、市販の収縮低減材料がコンクリートの圧縮強度、収縮および凍結融解に及ぼす影響の度合いは、その種類やコンクリートの配合等により大きく異なる。このため、コンクリートの要求性能を満足するよう、事前に性能を確かめたいうでを使用することが望ましい。

#### 参考文献

- 1) 日本コンクリート工学会：コンクリートの収縮問題とその対応—委員会報告，2010.3
- 2) 谷口秀明，浅井洋，樋口正典，三上浩，藤田学：低収縮コンクリートの開発と実構造物への適用，三井住友建設技術研究所報告，第6号，pp.65-72，2008.11
- 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2008，2008.11
- 4) 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書【設計編】，2008.3
- 5) 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書【施工編】，2008.3
- 6) 谷口秀明，佐々木亘，斯波明宏，樋口正典：コンクリートの乾燥収縮ひずみに及ぼす要因に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.1，pp.365-370，2010.7