

収縮低減効果を有する混和剤を用いたコンクリートの品質

Quality of the Concrete Mixed with the Chemical Admixture for Reducing Shrinkage

谷口 秀明 HIDEAKI TANIGUCHI

佐々木 亘 WATARU SASAKI

樋口 正典 MASANORI HIGUCHI

この報告では、市販の収縮低減効果のある各種混和剤を使用したコンクリートの品質を確認した。評価対象とした混和剤は、収縮低減剤と収縮低減型の AE 減水剤および高性能 AE 減水剤である。試験の結果、コンクリートの収縮を低減し、圧縮強度および凍結融解抵抗性に影響を及ぼさないものが存在する一方で、圧縮強度が 20%程度低下するもの、自己収縮ひずみを低減する効果がないもの、乾燥収縮ひずみの低減効果が相当に小さいもの、水セメント比が大きい場合には相対動弾性係数が試験開始直後から急激に低下するものなどの存在が確認された。このように、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混和剤の種類によって大きく異なるため、事前に性能を確かめて使用する必要がある。

キーワード：収縮低減剤，圧縮強度，収縮，凍結融解作用

This report describes the quality of the concrete mixed with chemical admixture for reducing shrinkage. The objects of this evaluation are shrinkage reducing agent, AE water reducing agent and AE high-range water reducing agent.

As a result of the experiments, some admixtures decrease shrinkage of concrete without decreasing the compressive strength and the resistance to freezing and thawing of concrete. However, the others have some problems, that are not to be able to decrease shrinkage so much, to decrease the compressive strength by about 20%, and to decrease relative dynamic Young's modulus rapidly immediately after beginning of the freezing and thawing test. The importance of pre-confirmation of the influence of shrinkage reduction admixture is 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、コンクリートの自己収縮ひずみおよび乾燥収縮ひずみが一般的な骨材を用いた場合に比べて相当に大きく、甚大なひび割れ・変形を生じた橋梁が報告されている¹⁾。このような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²⁾。

収縮低減対策の一つとして膨張材を使用することが増えている。たとえば、耐震補強を目的とする巻立てコンクリートでは、拘束によるひび割れを抑制するため、以前より膨張材が使用されている。しかし、筆者の一人

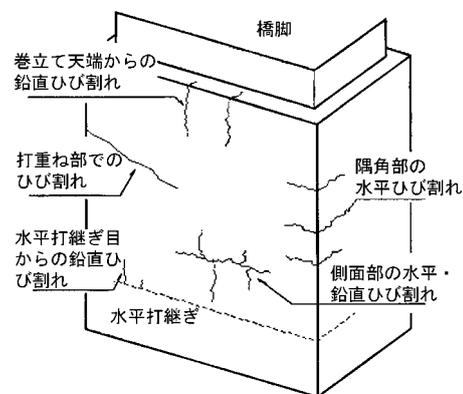


図-1 橋脚の巻立てコンクリートに発生するひび割れパターン³⁾

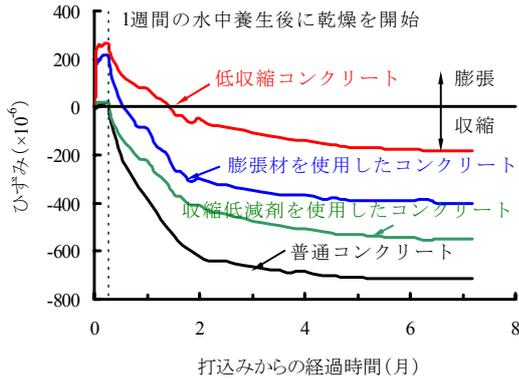


図-2 各種コンクリートの膨張・収縮ひずみのイメージ⁴⁾

が行った調査結果³⁾によれば、図-1 に示すようにコンクリートの不適切な打込み、締固め、打継ぎ処理などに起因するひび割れも存在するが、これらを除いても、調査対象のすべての道路橋（40 橋）で何らかのひび割れが確認された。最大ひび割れ幅は 0.1mm という微細なものも多く、膨張材の使用によるひび割れ低減効果を実証するものではあるが、拘束が大きい場合や収縮が過大なコンクリートを使用せざるを得ない場合には、より効果的なひび割れ低減対策が必要となる。

筆者らは、その対策の一つとして、主として膨張材と収縮低減剤を組み合わせる使用することにより、収縮を低減させたコンクリート（以下、低収縮コンクリートと呼ぶ）を開発し、すでに実際のコンクリート構造物に適用している⁴⁾。図-2 に示すとおり、膨張材を使用した場合には初期に膨張するが、その後の乾燥過程における収縮ひずみは普通コンクリートとほぼ同等である。これに対して、収縮低減剤を使用した場合には、初期膨張は発生しないが、乾燥収縮ひずみを低減できるとともに、富配合コンクリートの自己収縮ひずみの低減効果も確認している。双方を組み合わせた低収縮コンクリートは、収縮低減に対する相乗効果を期待できることになる。しかし、膨張材、収縮低減剤をそれぞれ単独で使用するのか、あるいは双方を使用するののかは、部材の拘束の度合い、それらを添加する前のコンクリートの収縮ひずみ、その他の対策の有無、経済性、レディーミクストコンクリート工場の対応能力などによって異なるため、適切に判断し、選択する必要がある。

膨張材の品質は JIS A 6202 で規定されており、コンクリート標準示方書などにおいても膨張コンクリートの品質や施工上の留意点などが明確になっている。一方、収縮低減剤に関しては、JIS 化も試みられているが、混和剤メーカーが各社独自の基準により開発しているため、さまざまなものが流通しており、収縮低減剤およびこれを用いたコンクリートの品質は必ずしも明らかにはなっていない。

表-1 コンクリートの配合条件および実測の空気量

記号	W/C (%)	単位水量 (kg/m ³)	セメントの種類	AE減水剤または高性能AE減水剤		収縮低減剤		実測の空気量 (%)
				種類	使用量 (C ₂ %)	種類	使用量 (kg/m ³)	
H40	40	165	H	GA	SP	0.8	-	5.0
H40-SPRS1					SPRS1	1.4		4.5
H40-SPRS2					SPRS2	1.5		5.0
H40-RSA					SP	0.7	RSA	6.0
N55	55	165	N	GA	WAE	1.0	-	4.6
N55-WAERS1					WAERS1	1.7		4.5
N55-WAERS2					WAERS2	1.6		4.8
N55-SPRS1					SPRS1	1.2	5.1	
N55-SPRS2					SPRS2	1.2	4.2	
N55-RSA					WAE	0.8	RSA	6.0
N55-RSB	WAE	0.8	RSB	8.0	4.2			
N50B	50	170	N	GB	WAE	1.4	-	4.4
N50B-WAERS1					WAERS1	1.7		4.9
N50B-WAERS2					WAERS2	1.8		5.0

いない。最近では、収縮低減剤を含む AE 減水剤あるいは高性能 AE 減水剤もメーカー各社から続々と開発されている。そこで、本報告では、複数の混和剤メーカーから収縮低減剤およびこれを含む AE 減水剤・高性能 AE 減水剤（以下、総称して収縮低減材料と呼ぶ）を入手し、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を試験により確認した。なお、補足的にはなるが、ごく限られた試験と文献調査の結果をもとに、塩分浸透性と中性化への影響についても触れた。

2. 試験内容

(1) コンクリートの条件

試験に使用したコンクリートの配合条件と実測の空気量を、表-1 に示す。評価の対象は、設計基準強度 40N/mm² 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/mm² 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。使用したセメントは、それぞれ、早強ポルトランドセメント（密度 3.13g/cm³）、普通ポルトランドセメント（密度 3.15g/cm³）であり、すべて同一の銘柄・ロットのものである。水セメント比（W/C）は、PC 配合では 40%、RC 配合では 55%および 50%とした。

RC 配合では、筆者らの試験機関で使用している骨材（GA）と、某レディーミクストコンクリート工場で使用され、コンクリートの収縮が比較的大きくなる骨材（GB）を使用した。骨材 GA と骨材 GB は、細骨材と粗骨材の双方が異なる産地のものを組み合わせている。

事前の検討において、骨材 GB を使用した場合には、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 GA 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 減水剤と高性能 AE 減水剤の双方を使用した。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、単位水量が 165 または 170kg/m³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。その使用量は、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 剤によって調整した。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）コンクリートの品質評価試験

今回の試験では、硬化コンクリートの品質を評価対象とした。その品質としては、圧縮強度、収縮および凍結融解抵抗性である。それぞれの試験方法を、以下に示す。

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対象とした。自己収縮試験は、（社）日本コンクリート工学協会「高流動コンクリートの自己収縮試験方法」に準拠して実施した。100×100×400mm の角柱供試体を使用し、供試体中央に埋込みひずみ計を設置してデータロガーで測定した。コンクリートの凝結時間試験を実施し、以降に示す自己収縮ひずみの起点は凝結の始発とした。一方、乾燥収縮試験は、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）に準拠して実施した。コンタクトゲージ法ではゲージプラグに埋込み型のものを使用した。供試体は 100×100×400mm の直方体であり、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。測定者の影響を排除するため、同一の試験員が測定を行った。

凍結融解試験は、JIS A 1148 に準じて実施した。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 日である。

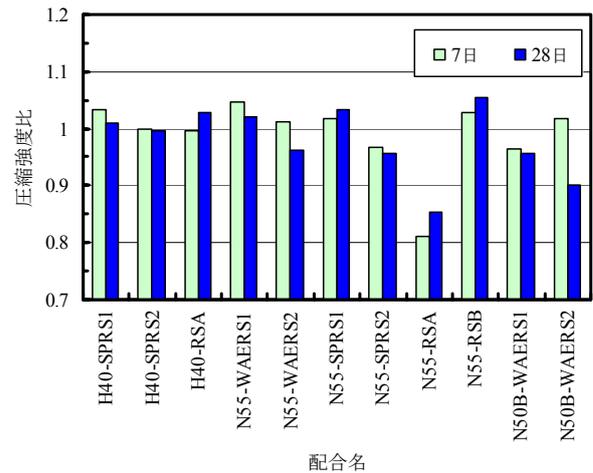


図-3 圧縮強度比

3. 試験結果および考察

（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-3 に示す。ここで、圧縮強度比とは、収縮低減材料を使用したコンクリートの圧縮強度を、それを使用しないコンクリート（表-1 中の H40、N55 および N50B。以下、ベースコンクリートと呼ぶ。）の圧縮強度で除した値である。圧縮強度比は、材齢ごとに算出した。

図-3 に示すとおり、PC 配合（H40 シリーズ）の圧縮強度比は、いずれの混和剤を使用した場合も 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。しかし、その一方で、RC 配合においては、使用した混和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 減水剤の WAERS1 と WAERS2 は、配合 N55 と N50B に対して使用している。WAERS1 を使用した場合には、材齢 7,28 日ともに、その 2 配合の圧縮強度比は 1.00±0.05 の範囲であり、圧縮強度にはほとんど影響を及ぼさないと見なせる。一方、WAERS2 を使用した場合の圧縮強度比は、材齢 7 日では 1.00 を若干上回るが、28 日では 0.90 および 0.96 である。すなわち、WAERS2 は初期強度には影響を及ぼさないが、長期強度の若干低下を招く可能性がある。

次に、収縮低減型高性能 AE 減水剤（SPRS1、SPRS2）は、H40 シリーズと N55 シリーズの双方で使用し、それらの圧縮強度比は 1.00±0.05 の範囲となった。しかし、N55 シリーズのみに対して SPRS2 を使用した場合には、材齢 7,28 日ともに圧縮強度が若干低下しており、水セメント比が大きな配合では圧縮強度に対して若干影響を及ぼすことが分かる。

収縮低減剤 SRA は、前述のとおり、PC 配合（H40 シリーズ）では圧縮強度に影響を及ぼしていないが、N55 シリーズにおける圧縮強度比は、材齢 7 日では 0.81、28 日では 0.85 であり、圧縮強度を大幅に低下させている。しかし、N55 シリーズで収縮低減剤 SRB を使用した場合には、圧縮強度比は 1.0 を上回っており、収縮低減剤の種類によって影響の度合いが大きく異なることが分かる。

コンクリートの収縮低減効果を目的とした混和剤の開発が盛んで、さまざまな製品が市場に出回っている。

しかし、今回の試験結果によれば、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さまざまであり、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、コンクリートの配合設計において、セメント水比と圧縮強度の関係式から厳密に水セメント比を決定する場合には、そのような混和剤を使用しないコンクリートの関係式を使用できないこともある。したがって、使用予定の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。

(2) 収縮

自己収縮ひずみの測定結果を、図-4 に示す。自己収縮は、単位セメント量が少ない N55 シリーズ以外を評価の対象としている。図中には、参考として、JCI ひび割れ制御指針の計算式⁵⁾で求めた自己収縮ひずみの曲線を示した。

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、いずれもベースコンクリート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 SRA を使用した場合には、ベースコンクリート（H40）の 0.63 倍にまで自己収縮ひずみを低下させることができる。また、RC 配合の N50B では、2 種類の収縮低減型 AE 減水剤（WAERS1, WAERS2）の効果を確認したが、それらを使用した自己収縮ひずみは、種類による違いは認められないが、ベースコンクリート（N50B）の約 0.79 倍に相当する（図-4）。

乾燥収縮ひずみの測定結果を、図-5 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²⁾で求めた乾燥収縮ひずみの曲線を示している。また、表-5 には、乾燥期間 28, 91 および 182 日における乾燥収縮ひずみ比を示した。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ベースコンクリートの圧縮強度で除

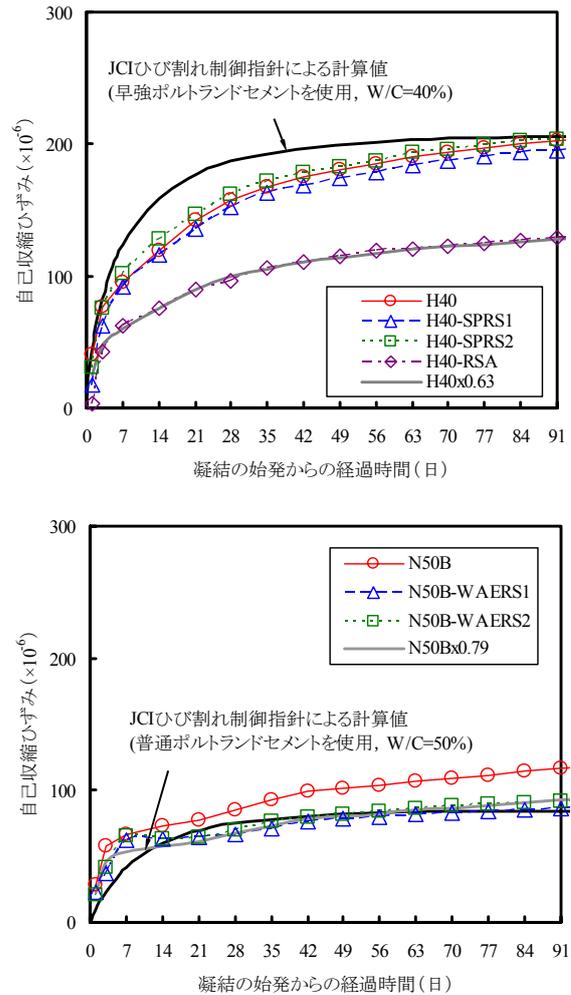


図-4 自己収縮ひずみ

した値で、材齢ごとに求めている。さらに、表-5 に示す圧縮強度比を用いて、混和剤の種類ごとに整理し、複数の配合で求めた結果は平均して、乾燥期間と乾燥収縮ひずみ比の関係を表したものが、図-6 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いことが明らかである。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。

いずれの混和剤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で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、収縮低減剤を使用すれば、30%程度は低減できるが、収縮低減型の AE 減水剤および高性能 AE 減水剤によって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

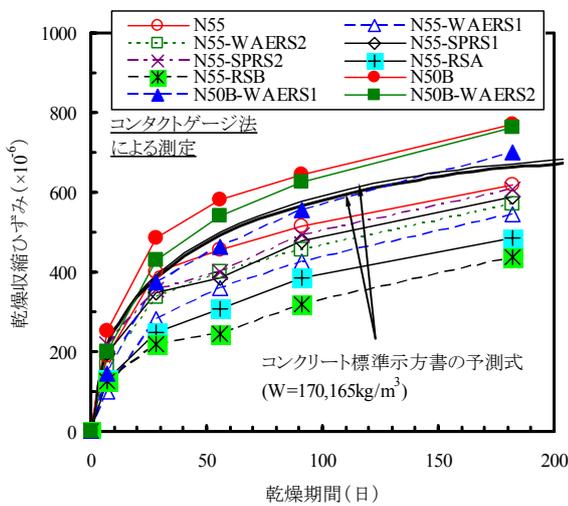
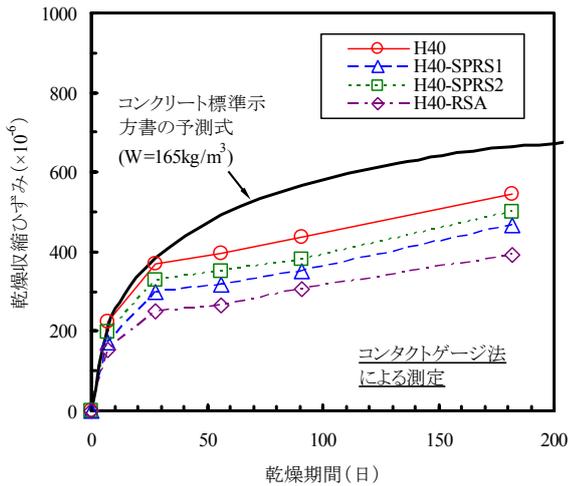


図-5 乾燥収縮ひずみ

表-2 乾燥収縮ひずみ比

測定方法	コンタクトゲージ法			ダイヤルゲージ法		
	28	91	182	28	91	182
乾燥期間 (日)						
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
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

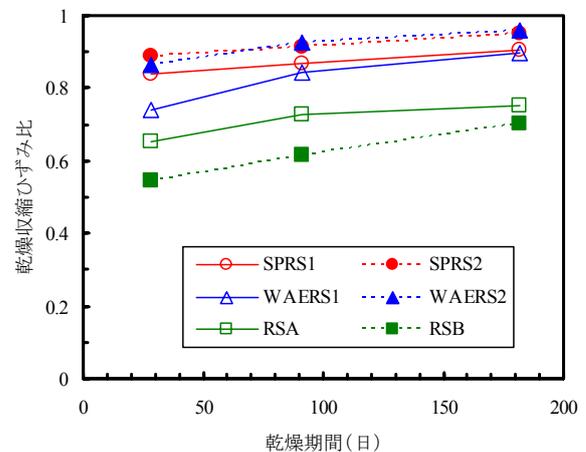


図-6 乾燥収縮ひずみ比

比率は、ベースコンクリートの値に対して 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には良いが、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などには、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。

なお、筆者らの研究⁶⁾では、乾燥収縮ひずみは、コンタクトゲージ法とダイヤルゲージ法で異なることが分かっている。表-2 に示す乾燥収縮ひずみ比に関しても双方の測定方法で異なり、いずれの測定方法を用いた結果であるかによって収縮低減効果の評価が多少異なる。

(3) 凍結融解抵抗性

凍結融解試験の結果を、図-7 に示す。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。なお、今回

の試験では、N55-WAERS2 および N55-RSB の測定は行っていない。

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。

水セメント比が 55% の N55 に関しても、相対動弾性係数は 300 サイクルまで 100% 近くの値を示しており、高い凍結融解抵抗性を有するベースコンクリートを基準に各混和剤の影響を確認した結果であると言える。何らかの収縮低減効果のある混和剤を使用すると、このベース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るが、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、その低下量はわずかである。しかし、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% に低下し、さらに収縮低減剤 SRA を使用し

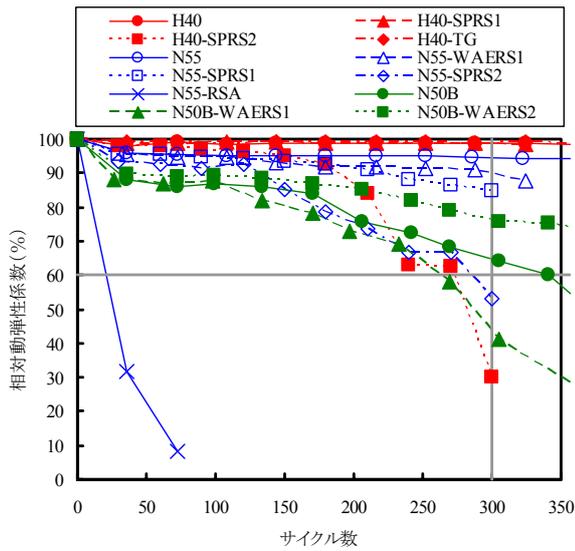


図-7 凍結融解試験の結果

た場合においては 20 サイクル程度で 60%未満に低下している。収縮低減剤 SRA の影響については、PC 配合と RC 配合で全く異なる結果となった。

骨材の品質が悪い N50B シリーズでは、ベースコンクリート (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。WAERS1 の影響は、PC 配合 (H40 シリーズ) に比べて大きい。

4. 塩分浸透性および中性化

(1) 塩分浸透性

混和剤メーカーの技術資料や学協会の文献を調査したが、収縮低減材料を用いたコンクリートの塩分浸透性に着目し、塩化物イオンの拡散係数を求めたものは確認できなかった。このため、ごく一部の配合条件ではあるが、試験により確認することとした。試験方法は JSCE-G 572 に準拠し、塩化ナトリウム水溶液に浸せきし、コンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数を求めた。供試体は $\phi 100 \times 200\text{mm}$ で、試験開始までの供試体の養生期間は 28 日、浸せき期間は 6 ヶ月である。

PC 配合 (H40) を対象として、ベースコンクリート、膨張材を用いたコンクリート (H40E20) および膨張材と収縮低減剤を組み合わせ使用したコンクリート (H40E20RS9) の塩化物イオンの見掛けの拡散係数を、図-8 に示す。記号 E20 は膨張材を 20kg/m^3 混入、記号 RS9 は収縮低減剤 RSA を 9kg/m^3 混入したことを指す。膨張材と収縮低減剤を混入したコンクリートにおける塩化物イオンのみかけの拡散係数は、ベースコンクリートおよび膨張材のみを使用したコンクリートよりも若干小

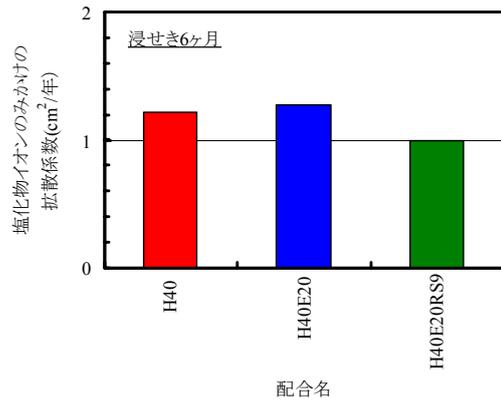


図-8 塩化物イオンの見掛けの拡散係数

さい。また、H40 と H40E20 の拡散係数もほとんど相違が認められない。したがって、膨張材あるいは膨張材と収縮低減剤の併用が、塩化物イオンのみかけの拡散係数に及ぼす影響は小さいと考えられる。

また、コンクリート標準示方書²⁾では、ひび割れ幅に応じて拡散係数を大きくする計算式が示されている。すなわち、コンクリート中への塩分浸透性および内部鉄筋の腐食には、コンクリート自体の緻密性とひび割れの有無・幅が密接に関係し合う。収縮低減材料は、その双方を総合的に判断して使用の必要性を検討する必要がある。

(2) 中性化

本研究では、中性化に関する試験は実施していないため、既往の文献を調査した。混和剤メーカーの技術資料および既発表の論文報告における収縮低減材料を用いたコンクリートの中性化試験の結果の概要を、それぞれ、表-3、表-4 に示す。表-3 では収縮低減剤に限定し、表-4 では、収縮低減型高性能 AE 減水剤および塗布型の収縮低減剤も含めている。収縮低減材料を用いたコンクリートの論文報告は、ほとんどが収縮に着目したものであり、中性化試験の結果を報告したものは極めて少ない。表-3 および表-4 によれば、収縮低減材料を使用すると、コンクリートの中性化深さまたは中性化速度が小さくなるとするものがほとんどである。ただし、その効果は、収縮低減材料の種類や使用量によって異なり、また、実機練りの結果では使用しない場合と同等であるという報告もある。したがって、収縮低減材料の使用によりコンクリートの中性化抑制の効果まで期待するのは難しいが、少なくとも中性化を促進させる作用はないと判断される。また、塩分浸透性と同様に、中性化の進行およびこれに伴う鉄筋腐食に関しても、ひび割れの有無・幅が重要なファクターであり、収縮低減材料は中性化への影響の度合いとひび割れ制御に伴う効果を総合的に検討する必要がある。

表-3 混和剤メーカーの技術資料に記載される、収縮低減剤を使用したコンクリートの中性化試験結果の概要

混和剤メーカー	試験結果の概要
A社	中性化速度係数は、ベースコンクリートよりも小さくなる。使用量が多いほど、小さくなる（ $1.12 \rightarrow 0.94 \sim 0.59 \text{mm}/\sqrt{\text{週}}$ ）。
B社	中性化速度係数は、ベースコンクリートよりも若干小さくなる。使用量が多いほど、若干小さくなる（ $2.25 \rightarrow 2.19 \sim 2.03 \text{mm}/\sqrt{\text{週}}$ ）。
C社	中性化深さ（26週）は、ベースコンクリートよりも小さくなる。使用量が多いほど、若干大きくなる。（ $4.0 \rightarrow 2.0 \sim 2.5 \text{mm}$ ）。高炉セメントを使用した場合には、中性化深さ（26週）は、ベースコンクリートの約半分になる（ $23.0 \rightarrow 14.0 \text{mm}$ ）。
D社	中性化深さ（2.5年）は、ベースコンクリートよりもわずかに小さくなる。使用量が多いほど、若干大きくなる（ $0.7 \rightarrow 0.6 \sim 0.7 \text{mm}$ ）。
E社	中性化深さ（13週）はベースコンクリートよりもわずかに小さいが、ほぼ同等。

表-4 既往の論文報告に記載される、収縮低減剤を使用したコンクリートの中性化試験結果の概要

著者	試験結果の概要
全ら ⁷⁾	収縮低減剤を用いたコンクリートは、無添加と比べ、中性化深さが40～60%減少した。収縮低減剤は強力な消泡作用によりコンクリート中の空気を追い出し、コンクリートの組織を緻密化すること、グリコールエーテル系誘導体自身がコンクリート中に存在することで間隙を埋め、外部から炭酸ガスの浸入を抑えると考察している。
保利ら ⁸⁾	収縮低減剤を用いたコンクリートの中性化深さは、無添加と比べて、若干小さい、もしくは同等である。
井上ら ⁹⁾	収縮低減型高性能AE減水剤を用いたコンクリートの中性化深さは、無添加と比べて、若干小さくなる。収縮低減型高性能AE減水剤と収縮低減剤を用いたコンクリートの中性化深さは、無添加と同等である。
梅本ら ¹⁰⁾	3種類の乾燥収縮低減剤を使用したコンクリートの中性化深さは、使用しないものよりも小さい。ただし、種類によって中性化抑制効果は異なる。また、水セメント比が大きいほど、効果が大きい。実機練りコンクリートの中性化深さは、収縮低減剤の効果が明確ではなく、使用したものと使用しないものは同等である。
郭ら ¹¹⁾	無塗布コンクリートの中性化速度係数が $5.61 \text{mm}/\sqrt{\text{週}}$ に対して、塗布したものは $2.82 \text{mm}/\sqrt{\text{週}}$ となり、塗布タイプ収縮低減剤による中性化進行の抑制効果が認められる。

5. 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について確認した結果、今回の試験の範囲で、以下のことが明らかになった。

- ① 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個々に大幅に異なる。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えで使用することが望ましい。
- ② 収縮低減剤を使用したコンクリートの圧縮強度は、ベースコンクリートの圧縮強度に対して0～20%程度の範囲で低下する傾向がある。
- ③ 収縮低減型の高性能 AE 減水剤には、コンクリートの自己収縮ひずみを低減する効果が認められないが、収縮低減型の AE 減水剤を使用した場合には、ベースコンクリートの約 0.79 倍の自己収縮ひずみに抑制できる。また、収縮低減剤を使用すると、自己収縮ひずみはベースコンクリートの 0.63 倍にまで低下する。
- ④ 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。
- ⑤ 水セメント比 40%の 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、水セメント比が 55%の RC 配合では、収縮低減剤を使用すると、ベース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るが、使用した収縮低減材料の中には試験開始直後から急激に低下するものも存在するので注意が必要である。
- ⑥ 限られた条件で実施した塩分浸透性試験の結果では、膨張材、収縮低減剤が塩化物イオンの見掛けの拡散係数に影響を及ぼさないことが確認された。また、文献調査の結果では、収縮低減剤を使用すると、中性化深さあるいは中性化速度が小さくなるとする結果が多いことが確認された。しかし、これらの耐久性に係わる試験・研究事例は極めて少なく、今後のデータ蓄積が期待される。

参考文献

- 1) 土木学会：垂井高架橋損傷対策特別委員会中間報告書，2005.9

- 2) 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書，2008.3
- 3) 谷口秀明，豊田邦男，辻野英幸，内田誠二郎：寒冷地における収縮補償用コンクリートの膨張特性，膨張コンクリートによる構造物の高機能化/高耐久化に関するシンポジウム論文集，pp.13-20，2003.9
- 4) 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
- 5) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御指針2008，2008.11
- 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
- 7) 全洪珠，原貴義，中村正俊，嵩英雄：フライアッシュコンクリートの強度・耐久性に及ぼす連行空気および収縮低減剤の影響，コンクリート工学年次論文報告集 Vol27，No.1，pp.187-192，2005
- 8) 保利彰宏，安藤哲也，小田部裕一，鈴木康範：初期欠陥のない高性能コンクリートの開発，コンクリート工学，Vol39，No.8，pp.16-21，2001
- 9) 井上和政，三井健郎，池尾陽作：各種混和剤を用いたコンクリートの収縮低減特性および諸特性，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.319-320，2004
- 10) 梅本宗宏，篠崎徹，八十島治典，大内一之，端直人，袴谷秀幸：乾燥収縮低減剤を用いた高耐久性コンクリートの開発と現場適用，戸田建設技術研究所報，pp.1-7，2003
- 11) 郭度連，花田達雄，杉山彰徳：塗布タイプ収縮低減剤を用いたコンクリートの性能向上，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.1，pp.631-636，2009