

論文 膨張材および収縮低減剤を用いたコンクリートの収縮低減効果

郭 度連*¹・佐竹 紳也*²

要旨 : 最も一般的なレベルの生コンクリートを想定し、膨張材および収縮低減剤を用いた場合のコンクリートの乾燥収縮低減効果を実験的に検討した。膨張材および収縮低減剤の単独使用,あるいは併用によって顕著な収縮低減効果が得られること、その効果は初中期材齢で顕著であることが認められ、乾燥収縮に関する目標品質の向上が可能であると推察された。また、新しいタイプの塗布型収縮低減剤においては、本来の収縮低減効果以外に、水分逸散防止による圧縮強度の増進効果が確認され、初期材齢において塗膜養生剤以上の効果が期待できることが示された。

キーワード : 膨張材, 収縮低減剤, 収縮低減, 塗膜養生剤, 圧縮強度

1. はじめに

コンクリートに要求される性能は日々多様化されており、高機能化、高性能化、高耐久化、長寿命化が求められている。その要求性能を満足するために、使用材料は複雑化する一方で、コンクリートの早期劣化、特に収縮ひび割れが問題視されている。

自己収縮を含めた収縮に対する関心は日々増しており、乾燥収縮に対する限界値も定められている。土木学会では、「2002年制定コンクリート標準示方書 [施工編]」で乾燥収縮ひずみの限界値を $500 \sim 700 \times 10^{-6}$ 程度としてよいと解説している。一方、建築学会では、「鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説」で乾燥収縮ひずみの目標値を 800×10^{-6} 以下に定めている。さらに、乾燥収縮ひずみによって使用するコンクリートの級を標準仕様 ($650 \sim 800 \times 10^{-6}$)、高級仕様 ($500 \sim 650 \times 10^{-6}$)、特級仕様 (500×10^{-6} 以下) に設けている。

このような収縮を低減するため、材料面からのアプローチもいろいろ工夫されており、単位

水量の低減、粉体量の低減、石灰石骨材の使用等に加えて収縮を低減する材料の使用が増加している。収縮低減のための代表的な材料としては、自由水の表面張力を減少させることによって直接的に収縮を低減する収縮低減剤¹⁾、初期膨張により間接的に収縮を補償する膨張材等が挙げられる。実構造物でも多数使用されており、その効果は多数の文献・報告等で確認されている²⁾。一方、膨張材と収縮低減剤との併用による相乗効果も認められているが³⁾、まだ十分なデータが蓄積されているとはいえない現状である。

そこで本研究では、最も一般的なレベルの生コンクリートを想定し、現状で考えられる材料的な面からの収縮低減対策について検討した。すなわち、膨張材および収縮低減剤を用いた場合のコンクリートの乾燥収縮低減効果を確認し、乾燥収縮ひずみの目標品質を達成するための基礎データを提供することに目的がある。なお、塗布型収縮低減剤については、本来の収縮低減効果以外に、圧縮強度の増進等の副次的な効果についても検討を加えた。

*¹ 太平洋マテリアル株式会社 開発研究所 博士 (工学) (正会員)

*² 太平洋マテリアル株式会社 開発研究所 工修 (正会員)

表-1 使用材料

材料	記号	品質
セメント	C	普通ポルトランドセメント、密度 $3.16\text{g}/\text{cm}^3$ 、比表面積 $3320\text{cm}^2/\text{g}$
膨張材	EX	石灰系、密度 $3.16\text{g}/\text{cm}^3$ 、比表面積 $3280\text{cm}^2/\text{g}$
混和型収縮低減剤	TG	低級アルコールアルキレンオキサイド付加物
塗布型収縮低減剤	CS	低級アルコールアルキレンオキサイド付加物
細骨材	S	川砂、密度 $2.58\text{g}/\text{cm}^3$
		砕砂、密度 $2.6\text{g}/\text{cm}^3$
粗骨材	G	碎石、密度 $2.62\text{g}/\text{cm}^3$

表-2 コンクリートの配合

配合	W/C	s/a	単位量(kg/m^3)					
	(%)	(%)	W	C	S	G	EX	SRA
PL	57	47	175	307	830	948	0	0
EX20	57	47	175	287	830	948	20	0
EX25	57	47	175	282	830	948	25	0
EX20+CS	57	47	175	287	830	948	20	$150\text{g}/\text{m}^2$
EX20+TG	57	47	169	287	830	948	20	6

表-3 コンクリートのフレッシュ性状

配合	フレッシュ性状		
	スランプ(cm)	空気量(%)	練り上がり温度($^{\circ}\text{C}$)
PL	15.5	6	21
EX20、EX20+CS	16	5	21
EX25	15	5	21
EX20+TG	15	3.5	21

2. 実験概要

2.1 配合および養生条件

表-1 に使用材料を、表-2 にコンクリートの配合を示す。セメントは、普通ポルトランドセメントを用い、膨張材は低添加型石灰系を用いた。コンクリートは、プレーン (PL) の他に、膨張材 $20\text{kg}/\text{m}^3$ 添加 (EX20)、膨張材 $25\text{kg}/\text{m}^3$ 添加 (EX25)、膨張材 $20\text{kg}/\text{m}^3$ と混和型収縮低減剤の併用 (EX20+TG)、膨張材 $20\text{kg}/\text{m}^3$ と塗布型収縮低減剤の併用 (EX20+CS) の 5 水準である。

水セメント比は 57% 一定で、単位水量は 175kg である。混和型収縮低減剤は標準量 $6\text{kg}/\text{m}^3$ を練混ぜ水に添加して使用した。塗布型収縮低減剤は、実構造物の脱型直後の塗布を想定し、水中養生 7 日後、気中に曝露する時点で

刷毛を用いて標準量 $150\text{g}/\text{m}^2$ を塗布した。

2.2 拘束膨張試験

$10 \times 10 \times 40\text{cm}$ の角柱供試体を用い、JIS A 6202 の膨張コンクリートの拘束膨張及び収縮試験方法 B 法に準じ、水中養生 7 日後、 20°C 、相対湿度 60% の恒温恒湿室内に曝露した。

2.3 乾燥収縮試験

乾燥収縮ひずみは、JIS A 1129 のコンタクトゲージ方法に準拠して行った。 $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ の角柱供試体を用い、7 日水中養生を行った後、基長を設定し、 20°C 、相対湿度 60% の恒温恒湿室内に曝露した。供試体数は、各条件につき、3 本とし、測定材齢における乾燥収縮ひずみおよび質量変化を求めた。

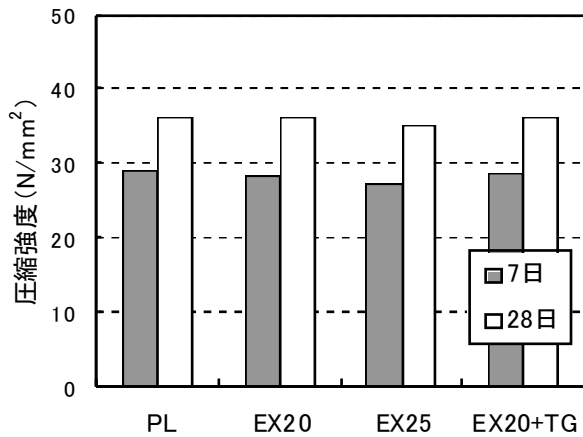


図-1 コンクリートの圧縮強度

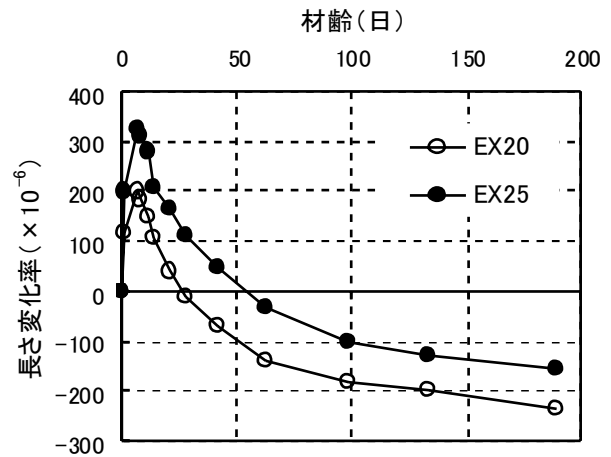


図-2 拘束膨張および収縮

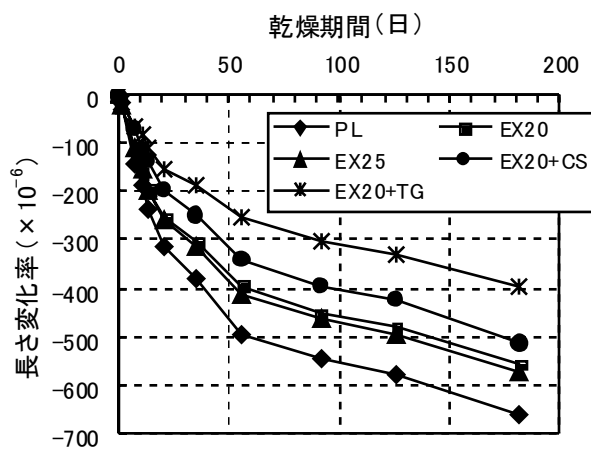


図-3 膨張材および収縮低減剤による乾燥収縮の減少

	材齢26週 収縮(×10 ⁻⁶)	長さ変化比 (%)
PL	-662	100
EX20	-554	84
EX25	-571	86
EX20+CS	-513	77
EX20+TG	-397	60

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュ性状および圧縮強度

コンクリートのフレッシュ性状を表-3に示す。同様の配合でスランプ、空気量、練り上がり温度は、それぞれの目標値 $15 \pm 2\text{cm}$, $4.5 \pm 1.5\%$, $20 \pm 2^\circ\text{C}$ を満足しており、膨張材および収縮低減剤の混和がコンクリートのフレッシュ性状におよぼす影響は少ないと考えられる。

図-1に材齢7日および28日の圧縮強度を示す。プレーンの28日圧縮強度約 36N/mm^2 に比べて、膨張材および混和型収縮低減剤を混和した場合においても圧縮強度は 36N/mm^2 程度でプレーン同等であり、添加による影響は軽微である。

3.2 拘束膨張

膨張材の混和による拘束膨張および収縮試験

結果を図-2に示す。水中養生7日までEX20は 200×10^{-6} , EX25は 325×10^{-6} 程度の膨張をしており、両者とも材齢28日まで収縮側に至っていない。その結果、材齢26週でEX20の収縮は 235×10^{-6} , EX25の収縮は 156×10^{-6} 程度となっている。

3.3 乾燥収縮

図-3に乾燥期間26週までの乾燥収縮試験結果を示す。表の長さ変化比は、プレーンに対しての各対策の比を表している。プレーンに比べて膨張材の混和によって、EX20で84%, EX25で86%の長さ変化比を示しており、平均的に15%程度低減している。従来から膨張材を混和したコンクリートの乾燥収縮は、無混和のコンクリートに比べて10~30%減少するとの報告が多く^{4), 5)}, 本実験でも同様の結果が得られて

いる。しかしながら、最近の知見では同等あるいは若干小さい程度であり、膨張材による乾燥収縮ひずみの低減は期待しないものとして扱う方が安全側であるとも言われている⁶⁾。膨張材に加えてさらに収縮低減剤を塗布および混和することによってそれぞれ長さ変化比は77%、60%で大幅に減少している。

3.4 収縮低減効果

収縮低減は、乾燥収縮そのものを低減する直接的な方法、膨張材のように収縮を補償する間接的な方法に大きく分けて考えられる。

図-3 に示した低減効果は、材料的な要因による直接的な乾燥収縮そのものの低減である。それに膨張材による間接的な収縮補償を足しあわせて図-4 に示す。対策を施したコンクリートは大幅な収縮低減効果が認められ、最も低減効果が少ない膨張材 20kg で長さ変化比は53%

になっている。

一方、膨張材に混和型収縮低減剤を併用した場合、プレーンに比べて最も収縮低減効果は大きく、約30%まで収縮が低減されている。従来から知られるように、膨張材と収縮低減剤を併用したコンクリートでも互いの効果が損なわれることなく、ほぼ重ね合わせたものとなっていると考えられる⁷⁾。

図-5 は、対策を施すことによる収縮ひずみ低減量をプレーンコンクリートに比べて材齢ごとに示したものである。乾燥期間63日まで収縮ひずみの低減効果が顕著であり、その後はプレーンとほぼ同等、あるいは若干少ない収縮を示している。言い換えれば、膨張材および収縮低減剤を用いた収縮の低減効果は、材齢9週程度の初中期材齢で顕著であり、最も乾燥収縮によるひび割れが懸念される期間において大きな効

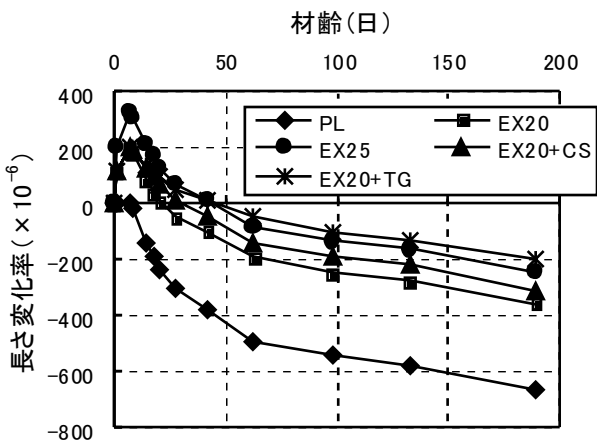


図-4 材齢26週の収縮および長さ変化比

	材齢26週 収縮 ($\times 10^{-6}$)	長さ変化比 (%)
PL	-662	100
EX20	-354	53
EX25	-246	37
EX20+CS	-313	47
EX20+TG	-197	30

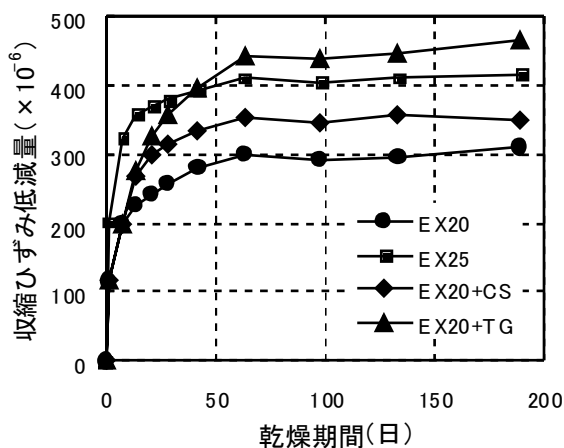


図-5 対策による収縮低減効果

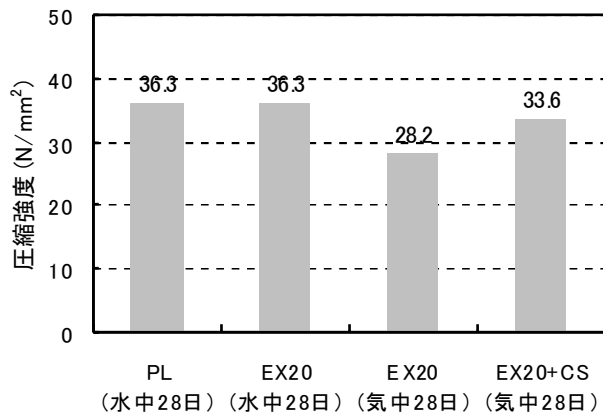


図-6 塗布型収縮低減剤による圧縮強度の増進

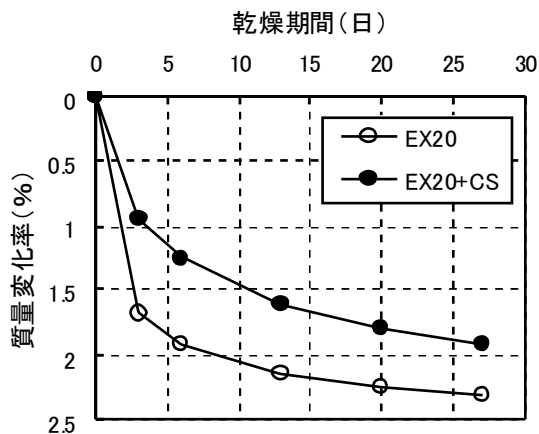


図-7 水分逸散量の変化

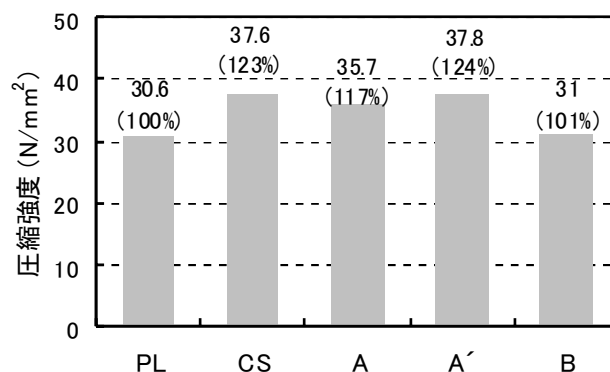


図-8 塗膜養生剤との圧縮強度の比較

果を発揮するといえる。材齢 26 週では、プレーンコンクリートに比べて、EX20 で 300×10^{-6} 程度、EX25 で 400×10^{-6} 程度、EX20 と収縮低減剤の塗布で 350×10^{-6} 程度、EX20 と収縮低減剤の混和で 450×10^{-6} 程度の低減効果が得られている。

最近では良質骨材の枯渇に伴い、コンクリートの乾燥収縮ひずみが増大し、材齢 26 週で 800×10^{-6} を超える例も多いことが報告されている⁸⁾。本実験の範囲で得られた程度の収縮低減が確実に確保できれば、建築学会が定めた乾燥収縮 800×10^{-6} を超える標準仕様外のコンクリートでも、対策を施すことによって 500×10^{-6} 以下の特級仕様を満足することが可能であると考えられる。

3.5 塗布型収縮低減剤の塗膜養生効果

塗布型収縮低減剤の使用による圧縮強度の変化を図-6 に示す。打設 24 時間後脱型し、供試体に収縮低減剤を標準量 150g/m^2 塗布して温度 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $60 \pm 5\%$ の恒温恒湿室内に材齢 28 日まで保存した結果である。28 日水中養生の圧縮強度 36.3N/mm^2 には及ばないが、無塗布の 28.2N/mm^2 に比べて収縮低減剤を塗布した供試体は、 33.6N/mm^2 まで増加しており、約 2 割の強度増進が認められる。

圧縮強度試験に用いた供試体の材齢 28 日までの質量変化率、すなわち、気中環境での水分逸散量の変化を図-7 に示す。収縮低減剤を塗

布した供試体の水分逸散量は、無塗布に比べて乾燥材齢 28 日で約 0.5% 少なくなっている。この 0.5% を簡易的に単位水量で換算すると、約 9kg であり、単位水量の約 5% になる。無塗布に比べて、この 5% の単位水量を供試体内に保持することによってセメントの水和は進行し、圧縮強度の増加をもたらしたと考えられる。供試体の養生条件によらず、水分逸散量と圧縮強度には負の相関関係があり⁹⁾、水分逸散量が少ないほど、セメントの水和は進行し、圧縮強度は大きくなる。

このような初期材齢の水分逸散を防止し、保持する機能は一般的に塗膜養生剤によって達成される。その効果を比べるため別途に行った塗膜養生剤と塗布型収縮低減剤の塗布による圧縮強度の変化を図-8 に示す。試験に用いたコンクリートは、水セメント比 50%、単位水量 175kg の膨張材を使用していない普通コンクリートである。塗膜養生剤は市販のものを用いて、A はパラフィン系、B はシリカ系である。コンクリート打設 24 時間後脱型し、それぞれの標準量を塗布した。A' は標準量の 1.5 倍を塗布したものである。図中の数字は、材齢 28 日の圧縮強度およびプレーンに対する圧縮強度比を示している。圧縮強度試験の結果から、塗布型収縮低減剤は塗膜養生剤に劣らない圧縮強度の増進効果を有することが確認される。

以上のように、塗布型収縮低減剤の性能面の

メリットとしては、本来の収縮低減効果以外に、初期材齢の水分の逸散防止による養生効果、圧縮強度の増進効果のような副次的な効果、さらに湿潤養生が重要である膨張材との併用において、湿潤養生に不安がある場所では、養生効果の発揮による膨張量の増加等も期待される。一方、施工面でのメリットとしては、硬化コンクリートに塗布することから、フレッシュおよび硬化コンクリートの性状に影響を及ぼさないことが挙げられる。さらに断面が大きい部材では経済的であることも考えられる。

今後は、初期材齢の養生効果および長期材齢にかけての収縮低減効果によるコンクリートのひび割れ低減性能、すなわちひび割れ抵抗性を検討する必要がある。また、今回は養生効果を圧縮強度のみによって評価しているが、初期養生がコンクリートに及ぼす影響の重要性を考えると、圧縮強度で現われる数字以上に耐久性の面の向上が期待され、耐久性試験による効果を確認する必要がある。

4. まとめ

コンクリートの収縮低減策として膨張材および収縮低減剤を用いてその収縮低減効果および塗膜養生効果を検討した。本実験の範囲内で得られた知見を以下に示す。

- (1) 膨張材および収縮低減剤を用いることによって顕著な収縮低減効果が認められ、乾燥収縮に関する目標品質を上げることが可能である。
- (2) 膨張材および収縮低減剤を用いたコンクリートの収縮低減効果は、材齢9週程度の初中期材齢で顕著であり、最も乾燥収縮によるひび割れが懸念される期間において大きな効果を発揮する。
- (3) 塗布型収縮低減剤は、収縮低減効果以外に、水分逸散防止による圧縮強度の増進効果が確認され、初期材齢において塗膜養生剤以上の効果が期待できる。

参考文献

- 1) 富田六郎・竹田邦夫・城所卓明：収縮低減剤を用いたコンクリートの乾燥収縮性状、セメント技術年報，No.37，pp.386-389，1983
- 2) 柴垣昌範・佐竹紳也・岸利治・唐沢智之：庸熱ポルトランドセメントを用いた膨張コンクリートのひび割れ抑制効果に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.1，pp.203-208，2006
- 3) 谷村充・兵頭彦次・佐藤達三・佐藤良一：高強度コンクリートの収縮低減化に関する一検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.2，pp.991-996，2000
- 4) 河野俊夫・一家惟俊・鈴木昭光：膨張性セメント混和材の単位量がコンクリートのひび割れ抵抗性に及ぼす影響，コンクリート構造物のひび割れに関するシンポジウム発表報告文集，日本コンクリート工学協会，1977
- 5) 三宅信雄・中谷清一：膨張材を用いたモルタルおよびコンクリートの長期材齢における性状，セメント・コンクリート，No.369，pp.8-13，1977
- 6) 鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針（安）・同解説，日本建築学会，pp.114-115，2006
- 7) 長瀧重義・富田六郎：膨張材と収縮低減剤，コンクリート工学，Vol.24，No.2，pp.56-62，1986
- 8) 元木亮・大橋正治・木村芳幹：大阪地区の生コンの乾燥収縮率試験結果の集計報告，第10回生コン技術大会研究発表論文集，Vol.10，pp.283-286，1999
- 9) 榊原泰造・近松竜一・十河茂幸：コンクリートの乾燥防止用各種養生剤の適用効果，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.1，pp.817-822，2005