

◇報告◇

レディーミクストコンクリート工場で製造した
収縮抑制コンクリートの性能評価Evaluation of Shrinkage Controlling Concrete Produced
in Ready Mixed Concrete Plants

兵頭 彦次*, 藤田 仁*, 谷村 充*

HYODO, Hikotsugu*; FUJITA, Hitoshi*; TANIMURA, Makoto*

要 旨

本報告は、日本建築学会「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」に示される特級仕様(乾燥収縮ひずみ 500×10^{-6} 以下)相当の収縮抑制コンクリートを、実際のレディーミクストコンクリート工場で製造し、フレッシュ、圧縮強度および長さ変化性状について評価した結果を示すものである。収縮抑制コンクリートは、収縮低減剤、膨張材、石灰石粗骨材を併用した水結合材比35.1%~55.6%を対象とし、標準期、夏期、冬期に2工場で製造した。フレッシュ性状は、3期を通して、混和剤の添加量を調整することで目標性能を満足できた。圧縮強度については、広範なデータを収集することで、強度設計に必要となるB/W-強度関係および平均気温に応じた強度の補正值を得た。長さ変化性状は、いずれの条件においても特級の性能を満足できることを確認した。本検討結果によって、実用的に収縮抑制コンクリートを提供できることが確認できた。

キーワード: 収縮抑制コンクリート, レディーミクストコンクリート工場, 収縮低減剤, 膨張材, 石灰石粗骨材

ABSTRACT

This paper evaluates the fresh properties, compressive strength and shrinkage of shrinkage controlling concrete (SCC), produced in two ready-mixed concrete plants, corresponding to special grade concrete standards (drying shrinkage strain: 500×10^{-6} and below) as outlined by Architectural Institute of Japan "Recommendations for Practice of Crack Control in Reinforced Concrete Buildings (Design and Construction)." The SCC was produced in two plants over three seasons (Spring, Summer and Winter) using a shrinkage reducing chemical agent, expansive admixture, and limestone coarse aggregate with a water-to-binder ratios of 35.1-55.6%. Fresh properties achieved the target performance by adjusting the dosage of chemical admixtures during each season. The properties needed for the strength design, which are the relation between binder-to-water-ratio and strength as well as the corrected value based on the relation between strength and average temperature, were derived from data obtained under various conditions. The shrinkage strain satisfied the limit value of JASS special grade standards. The investigation results demonstrated that SCC is applicable in a practical and realistic manner.

Keywords : *Shrinkage controlling concrete, Ready mixed concrete plant, Shrinkage reducing agent, Expansive admixture, Limestone coarse aggregate*

1. はじめに

「安全安心」という観点から、近年、コンクリート構造物の品質確保が強く望まれてきている。2000年には「住宅の品質確保の促進等に関する法律」が施行され、2005年には、公共工事を対象とした「公共工事の品質確保の促進に関する法律」が施行された。いずれも構造物の品質を確保することを主眼としており、構造物の健全性が社会的な注目を集めるようになった。

コンクリート構造物の品質を確保するうえで、コンクリートのひび割れ制御は重要な課題である。過大なひび割れは、構造物内部へ容易に劣化因子の侵入を許し、鉄筋の腐食など構造物の耐久性能を低下させる。ひび割れの要因のひとつとしては、コンクリートの乾燥収縮が挙げられる。乾燥収縮は、古くからのコンクリートの課題であり、これまで様々な対策手法が提案・実施されてきた。

このようななか、日本建築学会より「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¹⁾が発刊された。同指針(案)では、収縮ひび割れを制御するうえでの仕様設計として、乾燥収縮ひずみ量に応じたコンクリートのグレード分けが示された。グレードは、標準、高級、特級となっており(**Table 1**)、収縮の抑制手法に止まらず、抑制されたひずみ量を規定したことが従来と異なる点である。

乾燥収縮を抑制したコンクリートについては、過去多数の検討がなされ、各グレードに相当するものを提供する手法は既にある。しかしながら、これらは室内レベルでの検討が多く、実際のレディーミクストコンクリート工場で製造し、系統的な物性データを収集した例はほとんどないのが現状である。

そこで本検討では、収縮抑制コンクリートの実製造に資するデータを得ることを目的として、上記特級相当の収縮抑制コンクリートを、2箇所のレディーミクストコンクリート工場で標準

期, 夏期, 冬期にわたって製造し, 基本性能であるフレッシュ, 圧縮強度および長さ変化性状について評価を行った. 以下に評価結果を報告する.

なお, 本報告中の**Table 1-a~4-a**は, 末尾に掲載する.

2. 収縮抑制コンクリートの概要

2.1 収縮低減材料

本検討で対象とする収縮抑制コンクリートは, 乾燥収縮を抑制する材料として, 収縮低減剤, 石灰石粗骨材, 膨張材を併用した(**Table 2**). 収縮低減剤は, 1980年代に開発・実用化²⁾された有機系混和剤であり, 硬化体中の液状水の表面張力を下げて毛細管張力を減少させることがその抑制メカニズムと考えられている. 石灰石粗骨材は, そのメカニズムについては十分に明らかにされていないが, 乾燥収縮抑制効果が様々な研究・検討で認められている³⁾. 膨張材は, それ自体の水和反応によってコンクリートを膨張させる混和材料であり, すでに指針類の拡充が図られ⁴⁾⁵⁾, 多くの使用実績がある. 膨張材は, 添加量を変化させることで, ケミカルプレストレスを導入する場合や, 収縮を補償し拘束による引張応力を低減する場合に用いられるが, 本検討では, 収縮補償用コンクリート相当を目安に添加量を設定した.

2.2 乾燥収縮ひずみの評価手法

収縮低減剤と石灰石粗骨材が乾燥収縮を抑制するのに対し, 膨張材は主に乾燥収縮を補償するため, 両者の評価試験方法は通常異なる. 前者はJIS A 1129による無拘束の状態での長さ変化率, 後者はJIS A 6202による鋼材による一軸拘束を受けた状態での長さ変化率で評価を行うことが一般的である. 本検討では, 各種の収縮低減材料を併用しているため試験方法が混在するが, 収縮ひずみの評価手法として, 日本建築学会「膨張材を使用するコンクリートの調合設計・施工指針案・同解説」⁵⁾を参考にした. すなわち, 材齢7日まではJIS A 6202による拘束状態での長さ変化率(拘束膨張・収縮ひずみ)を適用し, 材齢7日以降は, これを基準にJIS A 1129による無拘束状態での長さ変化率(乾燥収縮ひずみ)を加えた値を適用し, 評価対象の収縮ひずみとした(**Fig. 1**).

3. 実験概要

3.1 コンクリート製造の概要

Table 3に, コンクリート製造の概要を示す. 製造は, A工場およびB工場の2箇所で行った. ミキサの種類は, 両工場とも強制二軸型を使用した. コンクリートの製造は, 両工場とも標準期, 夏期, 冬期の3回に分けて行い, コンクリートの製造時期が収縮抑制コンクリートの性能に及ぼす影響について評価した.

Table 1 Drying shrinkage strain of concrete grades
(コンクリートのグレードと乾燥収縮ひずみ)

Concrete grade	Drying shrinkage strain
Standard grade	800×10^{-6} - 650×10^{-6}
High grade	650×10^{-6} - 500×10^{-6}
Special grade (covered by this report)	500×10^{-6} and below

Table 2 Shrinkage reducing materials
(本検討で採用した収縮抑制材料)

Materials	Commodity/ production area
Shrinkage reducing agent	Tetra garde AS21
Limestone coarse aggregate	Tsukumi, Oita prefecture
Expansive admixture	Hyper Expan

Table 3 Conditions of manufacturing concretes
(コンクリート製造の概要)

Plant	Type of batch mixer	Test date		
		Standard (Sta.)	Summer (Sum.)	Winter (Win.)
A	Biaxially revolving-blade mixer	4/11	7/24	2/6
B		5/31	9/13	2/15

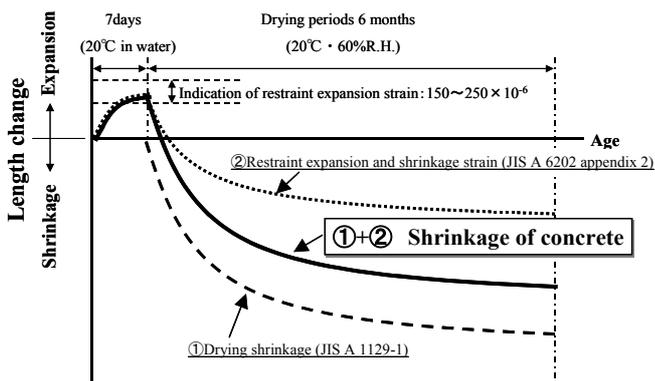


Fig. 1 Evaluation method for shrinkage strain
(収縮ひずみの評価方法)

3.2 使用材料

Table 4に、使用材料を示す。水、セメント、粗骨材および混和材料は、2工場とも同一のものを用いた。すなわち、水は工業用水、セメントは普通ポルトランドセメント、粗骨材は石灰砕石を用い、混和材料として、収縮低減剤、石灰系の低添加型膨張材、高性能AE減水剤を用いた。細骨材は、それぞれの工場で常時使用しているものを用いた。なお、いずれの工場も、産地は異なるが海砂および砕砂の混合砂を用いている。

3.3 コンクリートの配(調)合

Table 5に、コンクリートの配(調)合条件を示す。水結合材比は、55.6%、46.5%、40.0%、35.1%の4水準とした。目標スランプは、それぞれ 15 ± 2.5 cm、 18 ± 2.5 cm、 18 ± 2.5 cm、 21 ± 2.0 cmとし、目標空気量は $4.5 \pm 1.5\%$ とした。

Table 6に、コンクリートの配(調)合を示す。各水結合材比における単位水量は、工場間で若干異なるものの、その差は最大で 2 kg/m^3 であった。単位膨張材量は 22 kg/m^3 とし、セメントの内割とした。収縮低減剤および高性能AE減水剤は水の一部として添加した。

Table 7に、高性能AE減水剤およびAE剤の使用量を示す。所定のスランプを得るために必要な高性能AE減水剤量は、両工場ともコンクリートの製造時期によって変動したが、いずれも適当な範囲であった。AE剤添加量は、一部例外が認められたが、概ね10~15A程度であり、通常のコンクリートと比べ多い結果であった。なおコンクリートの練混ぜ時間は、関連指針類⁴⁾⁵⁾を参考に、一般的な45~60秒に比べて長く設定し、水結合材比に応じて90~135秒とした。これは膨張材の均一性を確保する観点から行ったものである。

3.4 試験項目および試験方法

Table 8に、本検討で実施した試験項目および試験方法を示す。試験は、フレッシュ性状として、スランプ、空気量、コンクリート温度の測定を、強度性状として、標準水中養生および現場水中養生の圧縮強度を行った。また、長さ変化性状としては、乾燥収縮および拘束膨張・収縮の2種類の方法で評価を行った。各フレッシュ性状試験および供試体成形は、現場への運搬時間を想定して行った。すなわち、ミキサから排出されたコンクリートを一度アジテータトラックに受けて、30分間攪拌した後に測定を実施した。また本検討では、標準期の水結合材比46.5%の条件で、収縮低減剤および膨張材を混和しないコンクリート(以下、プレーンコンクリート)の圧縮強度および長さ変化性状についても評価した。

収縮低減剤は、工場の設備条件によってはアジテータトラックのドラムに直接添加することも考えられたため、同条件を設定した。混合方法は、収縮低減剤をアジテータトラックのドラムに直接添加し、60秒間高速攪拌した。対象とする配(調)合は、標準期の水結合材比46.5%であり、試料をドラム口、中央、奥の3箇所から採取した場合の長さ変化性状について評価した。

Table 4 Materials (使用材料)

Plant	Materials	Type of materials	Symbol	Characteristics (manufacture/ production area)
A	Cement	Ordinary Portland cement	C	Density: 3.16g/cm ³ (Taiheiyo Cement)
	Fine aggregate	Sea sand (70%)	S1	Density: 2.57 g/cm ³ , F.M.: 2.55, Water absorption: 1.76% (Ogawashima-Oki)
		Crushed sand (30%)	S2	Density: 2.58 g/cm ³ , F. M.: 2.90, Water absorption: 1.82% (Aioi)
	Coarse aggregate	Crushed limestone	G	Density: 2.70 g/cm ³ , Max size: 20mm, Solid content: 60.0% (Tsukumi)
	Water	Industrial water	W	-
	Admixture	Expansive admixture	EX	Lime based, Density: 3.16 g/cm ³ (Taiheiyo Material)
	Chemical admixture	Shrinkage-reducing agent	SRA	Lower alcohol type (Taiheiyo Material)
High-rage water-reducing and air-entraining admixture		SP	Polycarboxylic acid type (BASF)	
Air-entraining admixture		AE	Rosin type (BASF)	
B	Cement	Ordinary Portland cement	C	Density: 3.16g/cm ³ (Taiheiyo Cement)
	Fine aggregate	Sea sand (60%)	S1	Density: 2.57 g/cm ³ , F.M.: 2.57, Water absorption: 1.40% (Karatsu)
		Crushed sand (40%)	S2	Density: 2.56 g/cm ³ , F.M.: 2.86, Water absorption: 1.84% (Ogazima)
	Coarse aggregate	Crushed limestone	G	Density: 2.70 g/cm ³ , Max size: 20mm, Solid content: 60.0% (Tsukumi)
	Water	Industrial water	W	-
	Admixture	Expansive admixture	EX	Lime based, Density: 3.16 g/cm ³ (Taiheiyo Material)
	Chemical admixture	Shrinkage-reducing agent	SRA	Lower alcohol type (Taiheiyo Material)
High-rage water-reducing and air-entraining admixture		SP	Polycarboxylic acid type (BASF)	
Air-entraining admixture		AE	Rosin type (BASF)	

F.M.: Fineness modulus

Table 5 Requirements for mixtures
(コンクリートの配(調)合条件)

	Unit	W/B (%) (B/W)			
		55.6 (1.80)	46.5 (2.15)	40.0 (2.50)	35.1 (2.85)
Unit water content	kg/m ³	180 and below			
Slump	cm	15±2.5	18±2.5	18±2.5	21±2.0
Air content	%	4.5±1.5			

Table 6 Mix proportion of concrete
(コンクリートの配(調)合)

Plant	W/B (%)	s/a (%)	Unit weight (kg/m ³)							SP	AE
			W	C	S1	S2	G	EX	SRA		
A	55.6	48.7	164	284	602	258	951	22	6	Table 7	
	46.5	48.0	171	354	570	244	925	22	6		
	40.0	45.8	171	416	528	226	936	22	6		
	35.1	46.2	174	491	509	218	888	22	6		
B	55.6	47.3	164	286	503	333	977	22	6		
	46.5	46.4	169	356	473	315	957	22	6		
	40.0	44.3	169	418	437	293	963	22	6		
	35.1	44.8	174	493	423	281	913	22	6		

Table 7 SP and AE dosage
(高性能AE減水剤およびAE剤の添加量)

Plant	W/B (%)	Sta.		Sum.		Win.	
		SP (B x %)	AE (A*)	SP (B x %)	AE (A*)	SP (B x %)	AE (A*)
A	55.6	0.60	9	1.00	10	0.55	8
	46.5	0.60	12	0.90	10	0.55	9
	40.0	0.70	13	0.90	13	0.55	9
	35.1	0.75	15	1.00	13	0.675	10
B	55.6	0.70	8	0.80	10	0.40	3.5
	46.5	1.00	12	0.90	12	0.40	3
	40.0	0.85	15	0.75	15	0.40	2.5
	35.1	0.90	17	0.90	17	0.45	2

(A*): 1A=B x 0.001%

Table 8 Test item and method
(試験項目および方法)

Test item	Testing standard	Test method
Slump	JIS A 1101 ^{:2005}	• Measurement time: 30 minutes after discharging concrete
Air content	JIS A 1128 ^{:2005}	• Pressure method • Measurement time: 30 minutes after discharging concrete
Concrete temperature	JIS A 1156 ^{:2006}	• Measurement time: 30 minutes after discharging concrete
Compressive strength	JIS A 1108 ^{:2006}	• Size of specimen: 100 x 200mm (cylinder) • Curing condition: water curing (20°C)/ water curing in field
Drying shrinkage	JIS A 1129-1 ^{:2001}	• Size of specimen: 100 x 100 x 400mm (prism) • Curing condition: 20°C water curing (before 7days), 20°C-60R.H.% (after 7days) • Measurement period: 6 months
Restraint expansion and shrinkage	JIS A 6202 ^{:1997} appendix 2	• Size of specimen: 100 x 100 x 400mm (prism) • Curing condition: 20°C water curing (before 7days), 20°C-60R.H.% (after 7days) • Measurement period: 6 months

4. 試験結果

4.1 フレッシュ性状

Table 1-aに、フレッシュコンクリートの試験結果を示す。コンクリート排出後30分が経過しているが、高性能AE減水剤およびAE剤の添加量を調整することで、条件によらず目標値を満足する結果が得られた。

4.2 圧縮強度性状

Fig. 2に、結合材水比と標準養生28日強度の関係を工場別にそれぞれ示す。また製造期によらず直線回帰した結果を併記する。試験時期に応じて幾分ばらつきが認められるが、結合材水比と圧縮強度の関係には高い相関が認められ、

通常のコンクリートと同様の傾向を有していることが確認された。

Table 9に、圧縮強度試験結果を示す。また「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5鉄筋コンクリート工事」⁶⁾(以下、JASS 5と称す)に示されるコンクリート強度の補正值(T値)を併せて示す。なおT値は、標準養生28日強度から現場水中養生28日強度を差し引いた値であり、平均気温は気象庁・気象統計資料の日平均気温データを基に、当該期間の平均値を用いた。プレーンコンクリートに対する収縮抑制コンクリートの強度の比は、標準養生28日強度の場合、平均で0.92程度、現場水中91日強度の場合、0.95程度であり、長期材齢になるとともに両者の差は小さくなる傾向であった。ただし、工

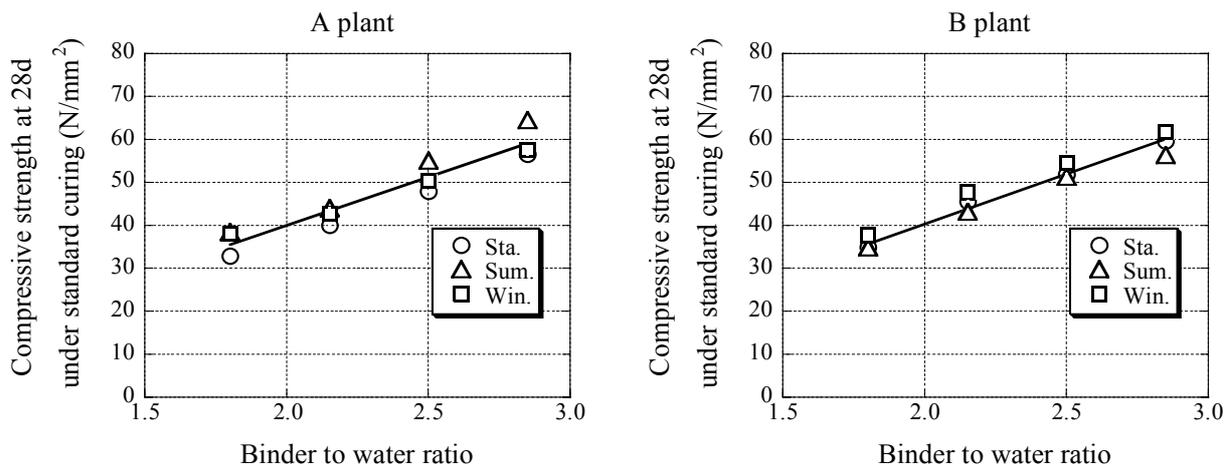


Fig. 2 Relationship between B/W and compressive strength at 28 days under standard curing (結合材水比と標準養生28日強度の関係)

Table 9 Compressive strength of shrinkage controlling concrete (収縮抑制コンクリートの圧縮強度試験結果)

Plant	Test period	W/B (%)	B/W	Compressive strength (N/mm ²)				Average temperature in field (°C)	T value** (N/mm ²)
				Standard curing		Water curing in field			
				7d	28d	28d	91d		
A	Sta.	55.6	1.80	21.8	33.0	30.5	39.9	15.9	2.5
		46.5	2.15	33.1	40.0	38.8	45.8		1.2
		46.5*	2.15	37.5	45.8	45.6	49.9		0.2
		40.0	2.50	40.7	48.1	47.9	56.9		0.2
	Sum.	35.1	2.85	49.1	56.7	57.7	67.5	30.0	-1.0
		55.6	1.80	29.4	38.5	41.7	45.4		-3.2
		46.5	2.15	32.2	44.1	44.5	47.9		-0.4
		40.0	2.50	43.8	55.1	57.4	61.3		-2.3
	Win.	35.1	2.85	53.1	64.7	67.8	72.0	7.2	-3.1
		55.6	1.80	28.2	38.2	33.8	41.8		4.4
		46.5	2.15	35.2	42.7	39.1	47.5		3.6
		40.0	2.50	41.5	50.6	46.3	54.2		4.3
B	Sta.	55.6	1.80	25.0	34.9	36.2	39.3	24.0	-1.3
		46.5	2.15	34.9	45.6	45.9	51.5		-0.3
		46.5*	2.15	36.6	47.0	47.5	52.8		-0.5
		40.0	2.50	41.5	52.0	52.1	57.4		-0.1
	Sum.	35.1	2.85	50.0	59.8	60.3	67.5	30.1	-0.5
		55.6	1.80	27.8	34.9	35.5	40.5		-0.6
		46.5	2.15	36.4	43.2	44.4	48.4		-1.2
		40.0	2.50	41.5	51.4	51.4	58.3		0.0
	Win.	35.1	2.85	49.0	56.5	56.6	66.5	7.9	-0.1
		55.6	1.80	27.0	37.8	34.6	42.1		3.2
		46.5	2.15	36.1	47.8	44.9	52.5		2.9
		40.0	2.50	42.0	54.7	53.1	61.0		1.6
		35.1	2.85	49.8	61.9	60.6	66.0		1.3

46.5*: plain concrete

T value**: (compressive strength at 28 days under standard curing) – (compressive strength at 28 days under water curing in field)

場別で比べると強度比には差異が認められ, 今後さらに検証が必要と考えられる. いずれにしても, 収縮抑制コンクリートの圧縮強度は, プレーンコンクリートに対し, 若干小さくなる傾向を示すため, 収縮抑制コンクリートを製造する際は, これらを加味した配(調)合設計を行う必要があると考えられる.

Fig. 3に平均気温とT値の関係を示す. またJASS 5に示されるT値の標準値(普通ポルトランドセメント)を併記する. 収縮抑制コンクリートのT値は, JASS 5に示される標準値と同様であった.

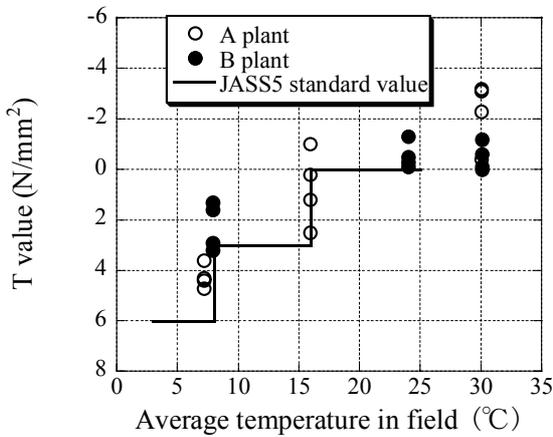


Fig. 3 Relationship between T value and average temperature in field (現場平均気温とT値の関係)

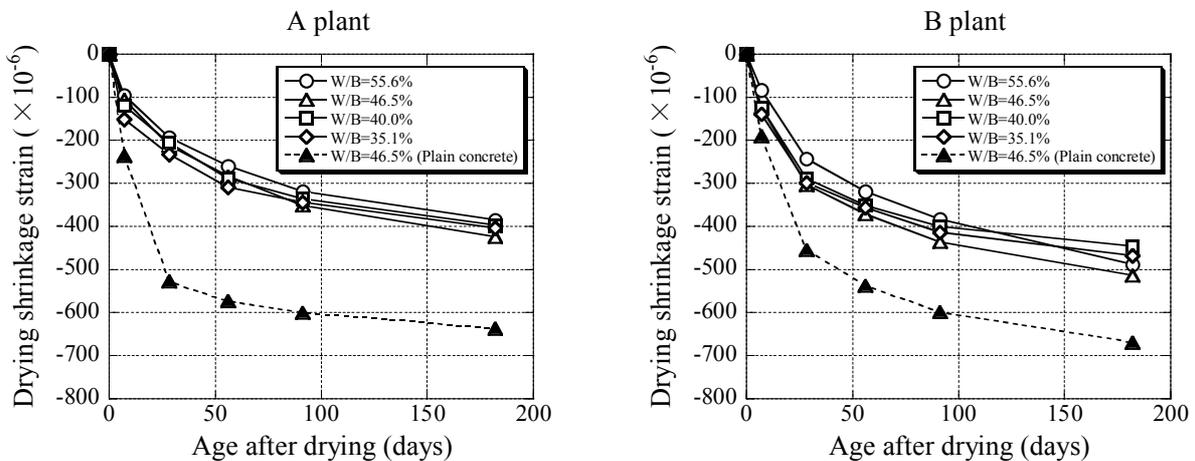


Fig. 4 Relationship between drying shrinkage strain and age after drying (乾燥収縮ひずみと乾燥材齢の関係)

4.3 長さ変化性状

(1) 乾燥収縮ひずみ

Fig. 4に, 標準期の乾燥収縮ひずみと材齢の関係を製造工場別にそれぞれ示す. また, プレーンコンクリートの結果も併記する. なお, その他の製造時期も含めた結果についてはTable 2-aに示す. いずれの工場についても, プレーンコンクリートに対し明確な収縮抑制効果が認められた. プレーンコンクリートに対する収縮抑制コンクリートの乾燥収縮ひずみの比は, A工場の場合, 4週で0.40, 3ヶ月で0.59, 6ヶ月で0.67, B工場の場合, 4週で0.67, 3ヶ月で0.73, 6ヶ月で0.77であった. また, 乾燥収縮ひずみに与える水結合材比の影響は小さかった.

Fig. 5に, 材齢6ヶ月における乾燥収縮ひずみを製造時期別にそれぞれ示す. 乾燥収縮ひずみは, A工場の場合 $385 \times 10^{-6} \sim 481 \times 10^{-6}$, B工場の場合 $396 \times 10^{-6} \sim 513 \times 10^{-6}$ であり, ひずみの変動範囲は, 工場によらずほぼ同等であった. 製造時期の影響を工場別に比べると, A工場の場合, 冬期 > 標準期 > 夏期の傾向が, B工場の場合, 標準期 > 夏期 > 冬期の傾向が水結合材比にかかわらず認められた.

Fig. 6に, 収縮低減剤をアジテータトラックに直接添加した場合と収縮低減剤を練混ぜ時に添加した場合の乾燥収縮ひずみを試料採取場所別にそれぞれ示す. 乾燥収縮ひずみは, 収縮低減剤の添加のタイミングにかかわらずほぼ同様であり, また, 試料採取位置の影響もほとんど認められなかった.

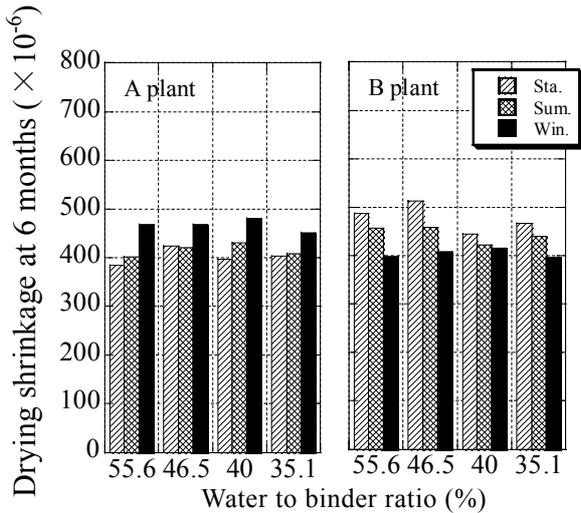


Fig. 5 Drying shrinkage strain at 6 months (乾燥期間6ヶ月後の乾燥収縮ひずみ)

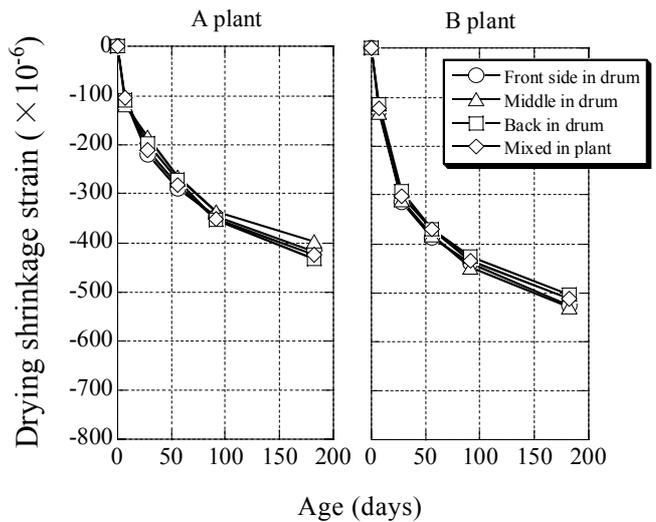


Fig. 6 Effect of charge timing of SRA and sampling point in drum of agitator on drying shrinkage (収縮低減剤をアジテータトラックに添加したコンクリートの乾燥収縮ひずみ)

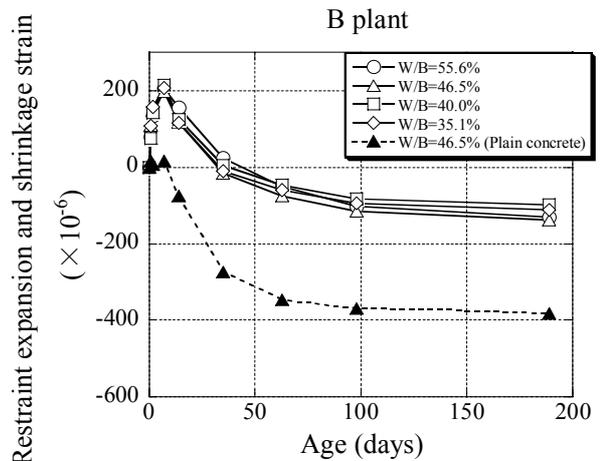
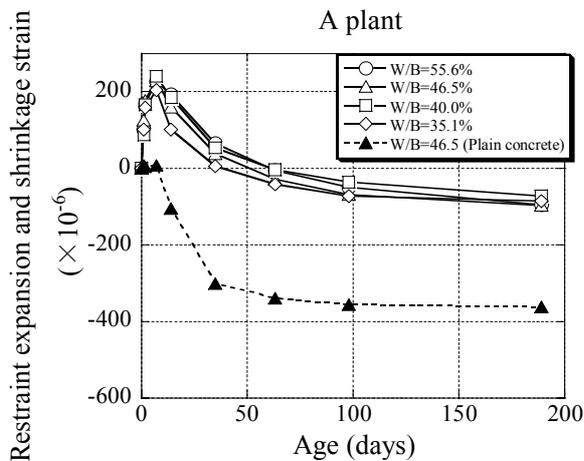


Fig. 7 Relationship between restraint expansion/shrinkage strain and age (拘束膨張・収縮ひずみと材齢の関係)

(2) 拘束膨張・収縮ひずみ

Fig. 7に、標準期の拘束膨張・収縮ひずみと材齢の関係を製造工場別にそれぞれ示す。またプレーンコンクリートの結果も併記する。なお、その他の製造時期も含めた結果についてはTable 3-aに示す。収縮抑制コンクリートは材齢初期に膨張したため、試験終了時の収縮ひずみがプレーンコンクリートよりも小さくなった。材齢7日以降の拘束収縮ひずみで比較すると、プレーンコンクリートに対する収縮抑制コンク

リートの比は、材齢4週で0.62~0.77、材齢3ヶ月で0.81~0.82、材齢6ヶ月で0.84~0.88であり、膨張ひずみ発現以降でも収縮抑制効果が認められた。

Fig. 8に、材齢7日の拘束膨張ひずみを示す。いずれの条件においても、文献⁵⁾が示す拘束膨張ひずみの標準値である 150×10^{-6} 以上を満足した。ただし、両工場とも、夏期に拘束膨張ひずみがやや小さくなった。また水結合材別に見ると、35.1%の配(調)合が、その他と比べて

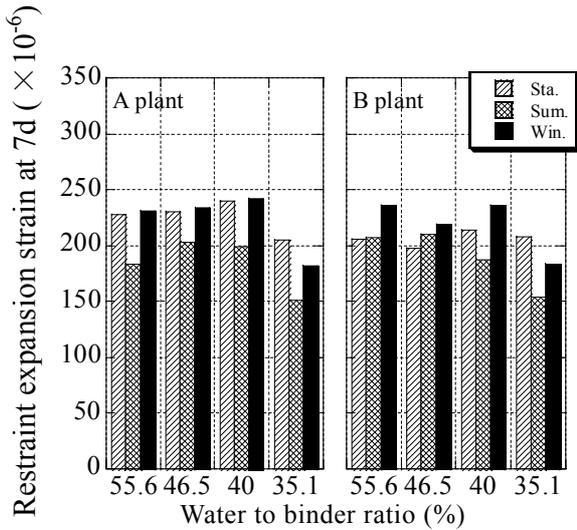


Fig. 8 Restraint expansion strain at 7days (材齢 7 日の拘束膨張ひずみ)

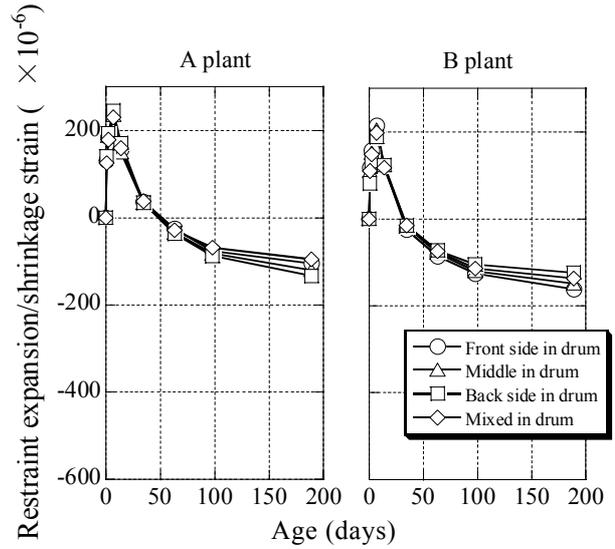


Fig. 9 Effect of charge timing of SRA and sampling point in drum of agitator on restraint expansion and drying shrinkage (収縮低減剤をアジテータトラックに添加したコンクリートの拘束膨張・収縮ひずみ)

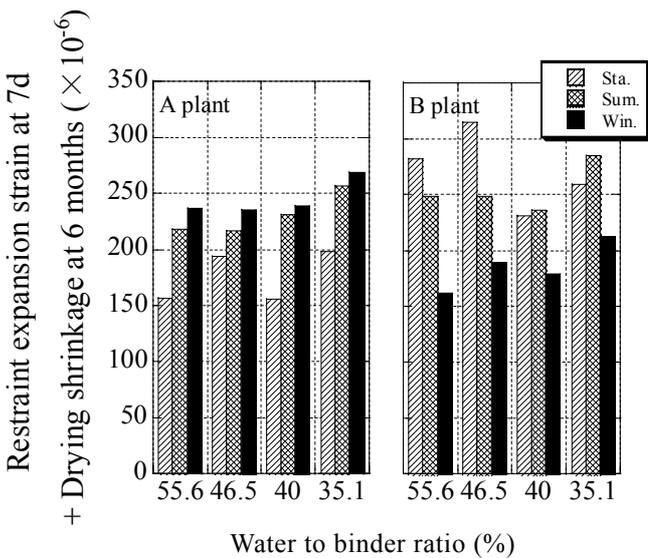


Fig. 10 Shrinkage strain of shrinkage controlling concrete (収縮抑制コンクリートの収縮ひずみ)

拘束膨張ひずみが小さくなる傾向が工場によらず認められた。これらのことは、水結合材比が小さく、温度が高いほど、材齢初期の自己収縮が顕著になることが理由ではないかと考えられる。

Fig. 9に、収縮低減剤をアジテータトラックに直接添加した場合と、収縮低減剤を練混ぜ時に添加した場合の拘束膨張・収縮ひずみを、試料採取場所別にそれぞれ示す。拘束膨張・収縮ひずみは、収縮低減剤の添加のタイミングにか

かわらずほぼ同様であり、また、試料採取位置の影響もほとんど認められなかった。

(3) 収縮抑制効果の評価

Fig. 10および Table 4-aに、2.2に示した方法 (JIS A 1129による乾燥期間6ヶ月における乾燥収縮ひずみと JIS A 6202による材齢7日における拘束膨張ひずみを加算) で求めた材齢6ヶ月の収縮ひずみを示す。いずれの条件においても、特級仕様を十分満たす結果が得られた。条件に応じた収縮ひずみの範囲は、A工場の場合、 $156 \times 10^{-6} \sim 269 \times 10^{-6}$ 、B工場の場合、 $162 \times 10^{-6} \sim 315 \times 10^{-6}$ であり、両工場の収縮ひずみの変動係数は、15~20%であった。ひずみの大きさは、A工場の場合、冬期 \geq 夏期 $>$ 標準期、B工場の場合、概ね標準期 \geq 夏期 $>$ 冬期となり、両工場の傾向は異なった。このような傾向は、それぞれの工場で規則性を有しているように見えるが、この理由については今後、繰り返し試験を行い検証する予定である。

5. まとめ

本検討では、日本建築学会「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」に示される特級相当の収縮抑制コンクリートを、2箇所のレディーミクストコンクリート工場で標準期、夏期、冬期にわたって製造し、基本性能であるフレッシュ性状、圧縮強度、長さ変化性状について評価を行った。以下に収縮抑制コンクリートに関して得られた知見をまとめる。

- (1) フレッシュ性状は、高性能AE減水剤およびAE剤の添加量を調整することで、製造場所・時期によらず目標値を満足する結果が得られた。
- (2) 結合材水比と標準養生28日強度の関係には高い相関があり、通常のコンクリートと同様の傾向を有していることが確認された。
- (3) 平均気温とコンクリート強度の補正值の関係は、JASS 5に示される普通コンクリートの標準値と同様の傾向であった。
- (4) 乾燥収縮ひずみは、製造工場によらずプレーンコンクリートに対して明確な抑制効果を示した。また、ひずみの変動範囲は、工場によらずほぼ同等であった。
- (5) 収縮低減剤をアジテータトラックに直接添加した場合でも、プラントで混合した場合と同等の収縮抑制効果が得られた。
- (6) 材齢7日における拘束膨張ひずみは、低水結合材比の配(調)合を夏期に製造した場合に小さくなる傾向を示したが、いずれの条件において標準値である 150×10^{-6} を上回る

結果であった。

- (7) 拘束膨張ひずみと乾燥収縮ひずみを組み合わせた材齢6ヶ月の収縮ひずみは、いずれの条件においても目標とする特級仕様を十分に満足した。

以上の結果から、本収縮抑制コンクリートを製造するうえで必要となるデータの拡充が図れるとともに、実用的に提供することが可能であることが確かめられた。

参 考 文 献

- 1) 日本建築学会, 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, 2006
- 2) 富田六郎, 本郷 明, 酒井公式, 収縮低減剤を使用したRC構造物のひび割れ試験, セメント・コンクリート, 1983, 436, p. 28-34
- 3) 大塩 明, 加藤泰義, 川島 清, 石灰石骨材を用いたコンクリートの基礎的諸物性, セメント技術年報, 1987, 41, p. 106-109
- 4) 土木学会, 膨張コンクリート設計施工指針, コンクリートライブラリー, 75, 1993
- 5) 日本建築学会, 膨張材を使用するコンクリートの調合設計・施工指針(案), 1978
- 6) 日本建築学会, 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事, 2003

Table 1-a Fresh properties of concrete
(コンクリートのフレッシュ性状)

Plant		A			B		
Test period	W/B (%)	Slump (cm)	Air content (%)	C.T. (°C)	Slump (cm)	Air content (%)	C.T. (°C)
Sta.	55.6	16.5	5.3	18.0	17.5	5.5	28.0
	46.5	18.5	4.8	20.0	20.5	4.8	25.0
	40.0	19.5	4.5	21.0	21.5	4.2	29.0
	35.1	20.5	3.6	21.0	22.5	4.2	29.0
Sum.	55.6	17.0	4.6	31.5	13.5	4.7	28.0
	46.5	21.0	5.1	32.0	19.5	4.6	29.0
	40.0	19.5	4.8	32.0	19.5	4.8	30.0
	35.1	21.0	3.4	34.0	20.0	4.5	31.0
Win.	55.6	13.0	3.9	13.0	17.5	5.9	15.0
	46.5	17.5	4.7	15.0	20.5	4.4	16.0
	40.0	18.5	3.9	16.0	20.5	4.2	17.0
	35.1	19.5	4.0	17.0	22.5	3.6	18.0

Table 2-a Drying shrinkage strain of shrinkage controlling concrete ($\times 10^{-6}$)
(収縮抑制コンクリートの乾燥収縮)

Plant	Test period	W/B (%)	Age after drying (days)				
			7	28	56	91	182
A	Sta.	55.6	-94	-192	-258	-319	-385
		46.5	-105	-211	-283	-351	-424
		46.5*	-235	-527	-572	-600	-636
		40.0	-118	-217	-293	-335	-396
		35.1	-151	-232	-308	-344	-403
	Sum.	55.6	-97	-210	-270	-323	-402
		46.5	-95	-208	-279	-358	-420
		40.0	-79	-213	-289	-371	-430
		35.1	-135	-240	-297	-364	-408
	Win.	55.6	-210	-285	-361	-414	-468
		46.5	-232	-309	-364	-425	-469
		40.0	-235	-299	-368	-427	-481
35.1		-255	-315	-358	-417	-451	
B	Sta.	55.6	-82	-242	-318	-382	-488
		46.5	-123	-303	-370	-435	-513
		46.5*	-190	-453	-537	-597	-668
		40.0	-123	-287	-350	-399	-445
		35.1	-138	-298	-355	-413	-467
	Sum.	55.6	-65	-197	-311	-407	-456
		46.5	-102	-233	-339	-420	-459
		40.0	-119	-224	-321	-396	-423
		35.1	-149	-255	-350	-420	-439
	Win.	55.6	-108	-215	-295	-325	-398
		46.5	-116	-243	-318	-346	-408
		40.0	-149	-262	-335	-362	-415
35.1		-137	-240	-297	-333	-396	

46.5*: Plain concrete

Table 3-a Restraint expansion and shrinkage strain of shrinkage controlling concrete ($\times 10^{-6}$)
(収縮抑制コンクリートの拘束膨張・収縮ひずみ)

Plant	Test period	W/B (%)	20°C water curing			20°C-60R.H.% curing					
			Age (days)								
			1	2	7	14	35	63	98	189	
A	Sta.	55.6	102	171	228	194	66	-6	-50	-95	
		46.5	126	178	230	160	38	-28	-69	-96	
		46.5*	9	5	9	-104	-301	-338	-356	-361	
		40.0	89	167	240	186	53	-4	-36	-72	
		35.1	102	158	205	102	6	-42	-71	-85	
	Sum.	55.6	167	-	184	110	22	-44	-73	-83	
		46.5	178	-	203	112	3	-65	-93	-106	
		40.0	167	-	199	135	0	-71	-96	-117	
		35.1	144	-	151	52	-32	-75	-90	-100	
	Win.	55.6	30	156	231	141	23	-48	-97	-129	
		46.5	21	172	234	135	18	-47	-100	-135	
		40.0	27	168	242	125	36	-49	-95	-135	
		35.1	20	121	182	74	-1	-50	-81	-109	
	B	Sta.	55.6	80	135	206	156	24	-51	-101	-131
			46.5	110	148	198	117	-15	-75	-115	-138
			46.5*	16	7	16	-74	-273	-345	-369	-382
40.0			76	142	214	126	6	-46	-83	-98	
35.1			108	158	208	116	-10	-60	-94	-112	
Sum.		55.6	177	-	207	152	31	-49	-96	-123	
		46.5	171	-	210	138	6	-67	-116	-132	
		40.0	139	-	187	85	-24	-81	-114	-116	
		35.1	131	-	154	76	-45	-92	-127	-131	
Win.		55.6	54	231	236	155	86	27	-31	-87	
		46.5	22	197	219	123	62	-4	-58	-112	
		40.0	45	228	236	137	70	3	-43	-98	
		35.1	29	173	184	106	39	-18	-61	-102	

46.5*: Plain concrete

Table 4-a Shrinkage strain of shrinkage controlling concrete ($\times 10^{-6}$)
(収縮抑制コンクリートの収縮ひずみ)

Plant	Test period	W/B (%)	①Drying shrinkage strain at 6 months	②Restraint expansion strain at 7d	①+②shrinkage of concrete	
A	Sta.	55.6	-385	228	-157	
		46.5	-424	230	-194	
		46.5*	(-636)	(9)	(-627)	
		40.0	-396	240	-156	
		35.1	-403	205	-198	
	Sum.	55.6	-402	184	-218	
		46.5	-420	203	-217	
		40.0	-430	199	-231	
		35.1	-408	151	-257	
	Win.	55.6	-468	231	-237	
		46.5	-469	234	-235	
		40.0	-481	242	-239	
		35.1	-451	182	-269	
	Average			-428	211	-217
	Maximum			-385	242	-156
	Minimum			-481	151	-269
	Standard deviation			32.0	28.3	35.6
	Variation coefficient			7.5	13.4	16.4
	B	Sta.	55.6	-488	206	-282
			46.5	-513	198	-315
46.5*			(-668)	(16)	(-652)	
40.0			-445	214	-231	
35.1			-467	208	-259	
Sum.		55.6	-456	207	-249	
		46.5	-459	210	-249	
		40.0	-423	187	-236	
		35.1	-439	154	-285	
Win.		55.6	-398	236	-162	
		46.5	-408	219	-189	
		40.0	-415	236	-179	
		35.1	-396	184	-212	
Average			-442	205	-237	
Maximum			-396	236	-162	
Minimum			-513	154	-315	
Standard deviation			36.4	22.7	45.9	
Variation coefficient			8.2	11.1	19.3	

46.5*: Plain concrete

() : Strain of plain concrete were excluded from statistical results