

論文 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

藤田 仁*1・兵頭 彦次*2・谷村 充*3

要旨: 石灰石粗骨材, 膨張材, 収縮低減剤を併用した水結合材比 35.1%~55.6%のコンクリートを, 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, 長さ変化性状を評価した。標準期, 夏期, 冬期の 3 期を通じて検討した結果, ・混和剤添加量の調整でフレッシュ性状の目標を満足すること, ・平均気温に応じた強度補正值等, 圧縮強度特性は通常のコンクリートと同様の傾向を有すること, ・長さ変化性状は, 乾燥収縮ひずみが 500×10^{-6} 程度以下となり, これに膨張材の拘束膨張ひずみを加算した見かけ上の収縮ひずみは 350×10^{-6} 以下となることがわかり, 実用的に収縮抑制コンクリートを製造できることを検証した。

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

1. はじめに

近年, コンクリート構造物の収縮ひび割れ制御の重要度が増すなか, コンクリートの収縮量を把握するとともに, 状況に応じて収縮量を低減する対策を講じる必要性が生じてきた。このようななか, 日本建築学会より収縮ひび割れに関する指針¹⁾(以下, 収縮ひび割れ制御指針)が発刊された。同指針では, 乾燥収縮ひずみの大きさに応じたコンクリートのグレード分けとして, 800×10^{-6} 以下の標準仕様のほかに, 650×10^{-6} 以下的高级仕様, 500×10^{-6} 以下の特級仕様が規定された。また, コンクリートの収縮低減化における現実的に取り得る対策として, 石灰石骨材, 膨張材, 収縮低減剤の使用効果の標準とともに, これらの材料の組み合わせによるコンクリートの収縮低減対策が示された。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, 最上級グレードの特級仕様コンクリートを達成する手法の知見は既にある²⁾。しかしながら, 実際のレディーミクストコンクリート工場での製造性を含め, 系統的な性能検証がなされた例はほとんどないのが現状である。

本論文では, 特級仕様コンクリートの実用化を想定し, 石灰石粗骨材, 膨張材, 収縮低減剤を併用した水結合材比を 35.1%~55.6%のコンクリート(以下, 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において標準期, 夏期, 冬期の 3 期を通じて製造し, フレッシュ, 圧縮強度, 長さ変化の一連の性状を実験的に検討した。

2. 実験概要

収縮抑制コンクリートの性能評価は, 市中の 2 つのレディーミクストコンクリート工場(以下, A 工場, B 工

場)で実施した。両工場とも標準期, 夏期, 冬期の 3 期について行い, コンクリート製造時期が収縮抑制コンクリートの性状に及ぼす影響について検討した。

2.1 使用材料

表-1 に使用材料を示す。セメント, 水, 粗骨材および混和材料は 2 工場とも同一なものを用いた。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。いずれの工場も, 産地は異なるが, 海砂および砕砂の混合物を用いている。

2.2 コンクリートの配(調)合および練混ぜ時間

表-2 にコンクリートの配(調)合を示す。水結合材比(W/B, B=セメント+膨張材)は, 設計基準強度 24~36N/mm²の範囲を想定し, 35.1%~55.6%の範囲で 4 水準を設定した。W/B=46.5%については, 収縮抑制コンクリ

表-1 使用材料

工場	材料	種類	記号	備考
A B 共通	セメント	普通	C	密度 3.16g/cm ³
		セメント		
	粗骨材	石灰砕石 2005	G	大分県津久見産 (表乾密度 2.70g/cm ³)
	混和材	膨張材	EX	石灰系(密度 3.16g/cm ³)
	混和剤	収縮低減剤	SRA	低級アルコールのアルキレンオキシサイド付加物
		高性能AE減水剤	SP	ポリカルボン酸系
AE剤		AE	界面活性剤	
A	細骨材	海砂 (70%)	S1	佐賀県小松島沖産 (表乾密度 2.57g/cm ³)
		砕砂 (30%)	S2	兵庫県相生産 (表乾密度 2.58g/cm ³)
B	細骨材	海砂 (60%)	S1	佐賀県唐津湾産 (表乾密度 2.57g/cm ³)
		砕砂 (40%)	S2	兵庫県男鹿島産 (表乾密度 2.56g/cm ³)

*1 太平洋セメント(株)中央研究所技術企画部 工修(正会員)

*2 太平洋セメント(株)中央研究所技術企画部(正会員)

*3 太平洋セメント(株)中央研究所技術企画部 博士(工学)(正会員)

表-2 コンクリートの配(調)合

工場	W/B (%)	s/a (%)	目標 S1. (cm)	目標 Air (%)	単位量 (kg/m ³)								混和剤量 (B×%)					
													標準期		夏期		冬期	
					W	C	S1	S2	G	EX	SRA	SP	AE	SP	AE	SP	AE	
A	55.6	48.7	15±2.5	4.5 ± 1.5	170	284	603	259	953	22	6	0.60	0.009	1.00	0.010	0.55	0.008	
	46.5	48.0	18±2.5		177	359	568	244	923	22	6	0.60	0.012	0.90	0.010	0.55	0.009	
	46.5*	47.8	18±2.5		175	376	568	245	932	0	0	0.80	0.002	—	—	—	—	
	40.0	45.8	18±2.5		177	421	526	226	933	22	6	0.70	0.013	0.90	0.013	0.55	0.009	
	35.1	46.2	21±2.0		180	491	509	219	890	22	6	0.75	0.015	1.00	0.013	0.675	0.01	
B	55.6	48.3	15±2.5		170	284	513	340	961	22	6	0.70	0.008	0.80	0.010	0.40	0.0035	
	46.5	46.4	18±2.5		175	354	473	314	957	22	6	1.00	0.012	0.90	0.012	0.40	0.003	
	46.5*	46.1	18±2.5		175	376	470	312	962	0	0	0.85	0.002	—	—	—	—	
	40.0	44.3	18±2.5		175	416	438	291	965	22	6	0.85	0.015	0.75	0.015	0.40	0.0025	
	35.1	44.8	21±2.0		180	491	423	281	913	22	6	0.90	0.017	0.90	0.017	0.45	0.002	
備考	46.5*: プレーンコンクリート W/B=W/(C+EX) 収縮低減剤 (SRA), 高性能AE減水剤 (SP) およびAE剤 (AE) は水の一部として添加 【実験実施日】 標準期→A工場: 4/11, B工場: 5/31, 夏期→A工場: 7/24, B工場: 7/25, 冬期→A工場: 2/6, B工場: 2/15																	

ートの比較として、膨張材無混和・収縮低減剤無添加のコンクリート(以下、プレーンコンクリート)についても併せて検討した。目標スランプは、W/B に応じて 15~21cm とした。コンクリートの練混ぜ時間は、W/B=55.6 および 46.5% の場合 90 秒、W/B=40.0 および 35.1% の場合 135 秒とし、レディミクストコンクリート工場における一般的な練混ぜ時間である 45~60 秒に比べて長く設定した。これは、膨張材の均一性を確保する観点より、関連指針類^{3), 4)}を参考に定めたものである。

2.3 試験項目および試験方法

表-3 に試験項目および試験方法を示す。フレッシュ性状試験および供試体作製は、現場への運搬時間を想定し、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 分間低速かく拌を行った後に実施した。また、表-3 に示した試験以外に、建築物の一般的な壁(壁厚: 20cm 程度、鉄筋比: 0.4~0.6%程度、ダブル配筋)を模擬した一軸供試体(以下、一軸モデル供試体)の長さ変化性状についても検討を行った。一軸モデル供試体は、無拘束状態での長さ変化を測定する供試体(以下、一軸無拘束モデル供試体)およびコンクリートに埋め込んだ鉄筋の拘束を受けた状態での長さ変化を測定する供試体(以下、一軸拘束モデル供試体)の 2 種類とし、W/B=46.5%のコンクリートを用いて作製した。図-1 および

表-3 試験項目および試験方法

試験項目	方法	備考
フレッシュ性状	スランプ	JIS A 1101 ⁻²⁰⁰⁵
	空気量	JIS A 1128 ⁻²⁰⁰⁵
	温度	JIS A 1156 ⁻²⁰⁰⁶
強度性状	圧縮強度	JIS A 1108 ⁻²⁰⁰⁶ ・標準養生: 材齢7, 28日 ・現場水中養生: 材齢28, 91日
長さ変化性状	乾燥収縮ひずみ	JIS A 1129 ⁻²⁰⁰¹ ・養生: 材齢7日まで20℃水中以降20℃・60%R.H. 気中 ・測定材齢: 保存期間1週, 4週, 8週, 3か月, 6か月
	拘束膨張・収縮ひずみ	JIS A 6202 ⁻¹⁹⁹⁷ 付属書2 (参考) のB法 ・養生: 材齢7日まで20℃水中以降20℃・60%R.H. 気中 ・測定材齢: 材齢1日 (脱型直後), 材齢2日, 材齢7日および保存期間1週, 4週, 8週, 3か月, 6か月

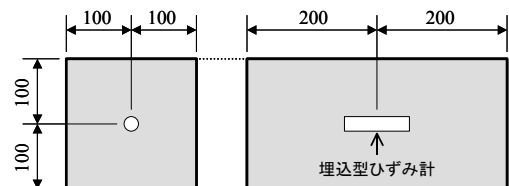


図-1 一軸無拘束モデル供試体 単位: mm

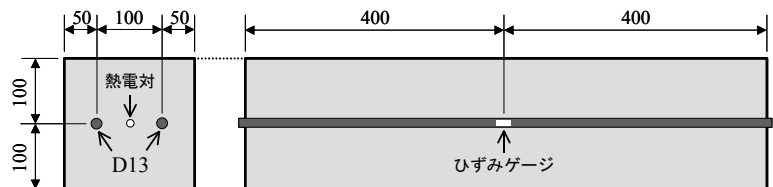


図-2 一軸拘束モデル供試体 単位: mm

図-2 に、一軸無拘束モデル供試体および一軸拘束モデル供試体の形状・寸法を示す。一軸拘束モデル供試体の鉄筋比は 0.5% である。一軸モデル供試体の養生は、雨掛かりや日射の影響を受けない屋外において、材齢 7 日まで型枠内で湿潤養生を行い、脱型以降、打込み面と底面

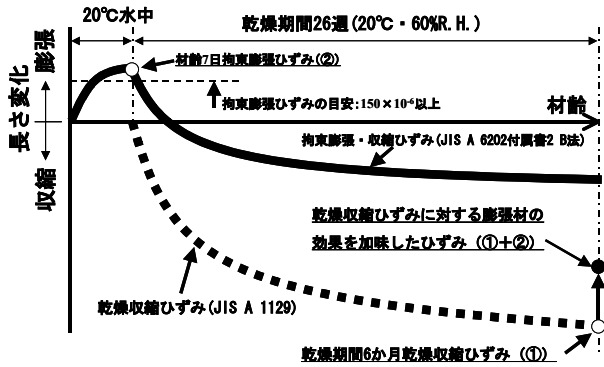


図-3 収縮ひずみの評価方法

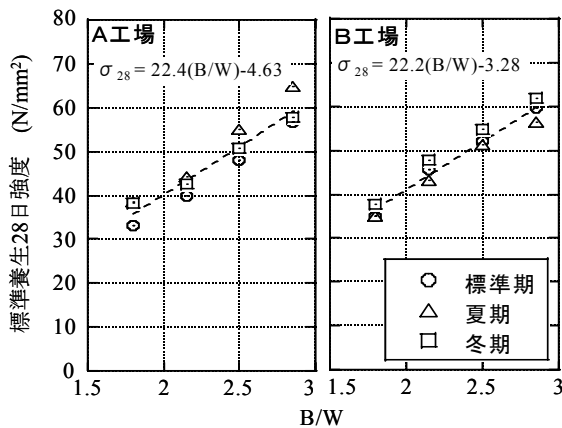


図-4 B/W と標準養生 28 日強度の関係

および端面をアルミ箔粘着テープでシールした状態で自然環境下での気中養生とした。一軸モデル供試体の体積表面積比 (V/S : (コンクリートの体積) / (コンクリートの乾燥面の面積))は、およそ 100mm であり, JIS A 1129 に規定する供試体 (100×100×400mm, 全面乾燥) の場合 (約 25mm) のおよそ 4 倍である。

3. 乾燥収縮ひずみの定義と膨張材の効果の取扱い

3.1 乾燥収縮ひずみの定義

本検討では、寸法の異なる 2 種類の無拘束供試体を用いている。JIS A 1129 供試体 (100×100×400mm) は、材齢 7 日まで標準水中養生を実施した後に基長をとり、その後温度 20°C, 相対湿度 60%の室内に保存して, JIS A 1129 に準じて測定された長さ変化を乾燥収縮ひずみとする。また、一軸無拘束モデル供試体 (図-1) は、材齢 7 日まで湿潤養生を実施した後に基長をとり、以後の養生条件は前述 2.3 に示した通り、自然環境下の気中に保存して、埋め込みゲージを用いて測定された長さ変化を乾燥収縮ひずみとする。

3.2 膨張材の効果の取扱い

膨張材は、一般的にコンクリートの初期硬化過程で膨張し、その反力としてコンクリートに圧縮応力を生じさせ、その後の収縮によって生じる引張応力を低減する効果を期待して使用され、収縮低減剤とはその作用機構が

表-4 平均気温およびコンクリートの強度補正值

工場	試験時期	W/B (%)	圧縮強度(N/mm ²)		平均気温 (°C)	T値 (N/mm ²)
			標準養生 28日強度	現場水中養生 28日強度		
A	標準期	55.6	33.0	30.5	15.9	2.5
		46.5	40.0	38.8		1.2
		46.5*	45.8	45.6		0.2
		40.0	48.1	47.9		0.2
		35.1	56.7	57.7		-1.0
	夏期	55.6	38.5	41.7	30.0	-3.2
		46.5	44.1	44.5		-0.4
		40.0	55.1	57.4		-2.3
		35.1	64.7	67.8		-3.1
	冬期	55.6	38.2	33.8	7.2	4.4
		46.5	42.7	39.1		3.6
		40.0	50.6	46.3		4.3
35.1		57.7	53.0	4.7		
B	標準期	55.6	34.9	36.2	24.0	-1.3
		46.5	45.6	45.9		-0.3
		46.5*	47.0	47.5		-0.5
		40.0	52.0	52.1		-0.1
		35.1	59.8	60.3		-0.5
	夏期	55.6	34.9	35.5	30.1	-0.6
		46.5	43.2	44.4		-1.2
		40.0	51.4	51.4		0.0
		35.1	56.5	56.6		-0.1
	冬期	55.6	37.8	34.6	7.9	3.2
		46.5	47.8	44.9		2.9
		40.0	54.7	53.1		1.6
35.1		61.9	60.6	1.3		

46.5* : プレーンコンクリート

異なる。このような膨張材の効果を表す指標として、従来から JIS A 6202 付属書 2 に示される一軸拘束を受けた状態での長さ変化率が用いられる。一方、収縮低減剤の効果は、JIS A 1129 による無拘束状態での長さ変化率で評価される。本検討では、膨張材と収縮低減剤を併用しているため試験方法が混在するが、乾燥収縮ひずみに対する膨張材の使用効果として、収縮ひび割れ制御指針¹⁾に示されている考え方を参考にし、乾燥期間 6 か月の乾燥収縮ひずみに材齢 7 日の拘束・膨張ひずみを加算したひずみをコンクリートの目標品質とした場合に評価の対象とする収縮ひずみとして取り扱う (図-3)。本来、作用機構が異なる材料を同一の土俵で統一的に評価することは難しい面があり、上記の方法はあくまでも便法の位置付けである。構造物レベルで発揮されるひび割れ抑制効果の観点による、本質的な収縮低減剤の性能評価については、今後の検討課題としたい。

4. 試験結果および考察

4.1 フレッシュ性状

コンクリートのスランプおよび空気量は、いずれの工場も、高性能 AE 減水剤および AE 剤の添加量を調節することで、目標値を満足する結果が得られた (表-2)。AE 剤の添加量は、収縮低減剤添加の影響によるものと思われるが、通常のコンクリートと比べて増加する傾向

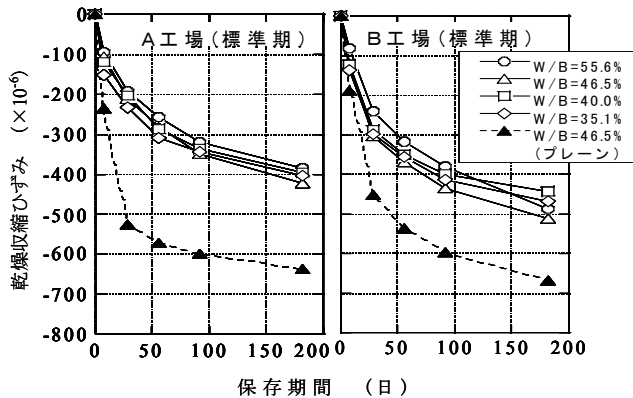


図-5 乾燥収縮ひずみの試験結果

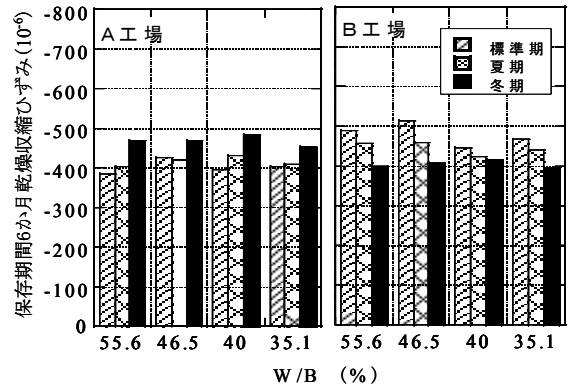


図-6 乾燥収縮ひずみと W/B の関係

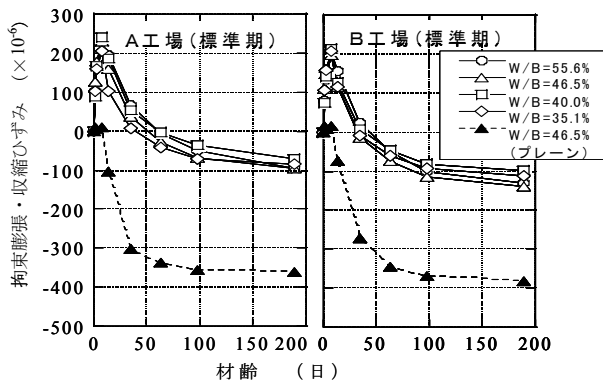


図-7 拘束膨張・収縮ひずみの試験結果

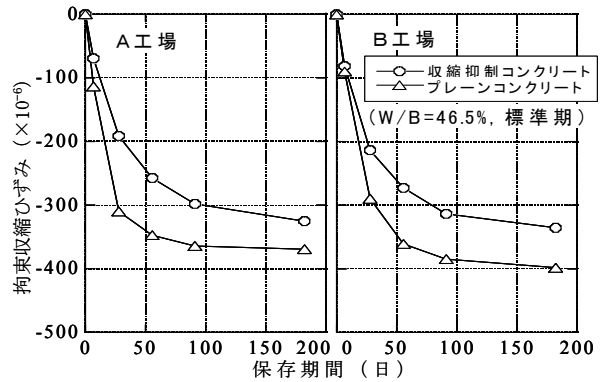


図-8 材齢 7 日以降の拘束収縮ひずみ

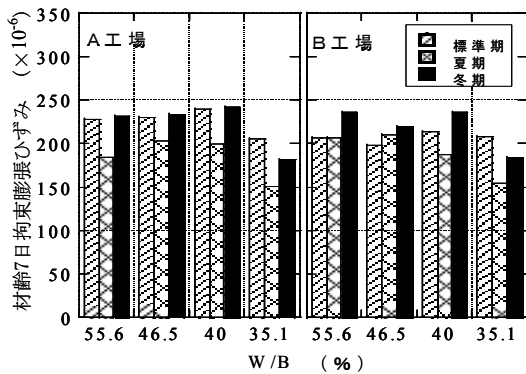


図-9 材齢 7 日拘束膨張ひずみと W/B の関係

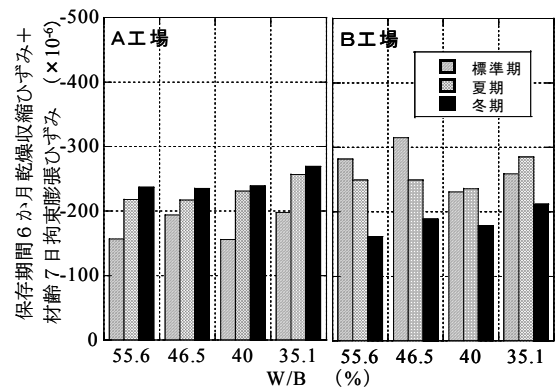


図-10 収縮抑制コンクリートの収縮ひずみ

であった。

4.2 圧縮強度性状

図-4 に B/W と標準養生 28 日強度の関係を示す。試験時期により幾分ばらつきが認められるが、B/W 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。表-4 にコンクリートの打込みから 28 日までの期間の平均気温およびコンクリート強度の補正值 (T 値) を示す。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として表しており、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。平均気温と T 値の関係は、普通コンクリー

トの場合と同様の傾向が認められる。W/B=46.5%について、プレーンコンクリートと収縮抑制コンクリートの強度を比較すると、前者に対する後者の強度の比は、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、今後さらに検証する必要がある。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て若干小さくなる傾向を示すため、配 (調) 合設計に際して留意する必要があると考えられる。

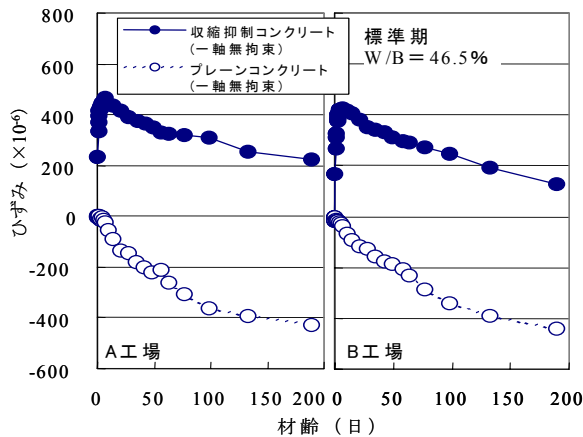


図-11 一軸無拘束モデル供試体のひずみ測定結果

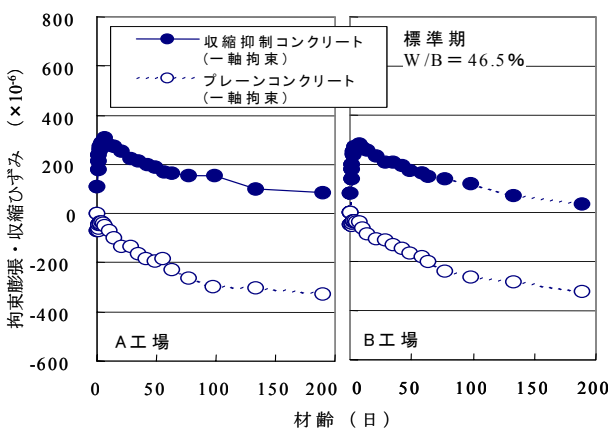


図-13 一軸拘束モデル供試体の拘束膨張・収縮ひずみ

4.3 長さ変化性状

(1) 乾燥収縮ひずみ

図-5 に標準期の乾燥収縮ひずみと材齢 7 日からの保存期間の関係を示す。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：0.40、3 か月：0.59、6 か月：0.67、B 工場の場合、4 週：0.67、3 か月で 0.73、6 か月で 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。

図-6 に保存期間 6 か月における乾燥収縮ひずみの結果を示す。乾燥収縮ひずみは、A 工場の場合 385×10^{-6} ~ 481×10^{-6} 、B 工場の場合 396×10^{-6} ~ 513×10^{-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。

(2) 拘束膨張・収縮ひずみ

図-7 および図-8 に標準期の拘束膨張・収縮ひずみと材齢の関係および材齢 7 日以降の拘束収縮ひずみを示

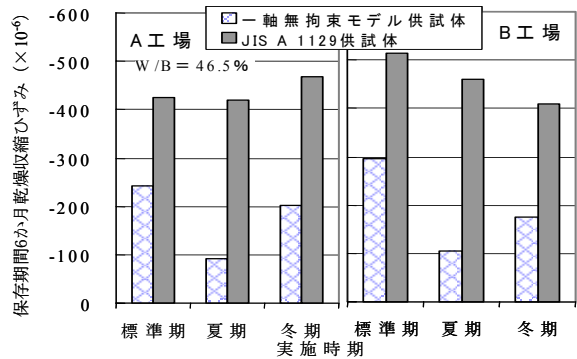


図-12 保存期間 6 か月乾燥収縮ひずみ

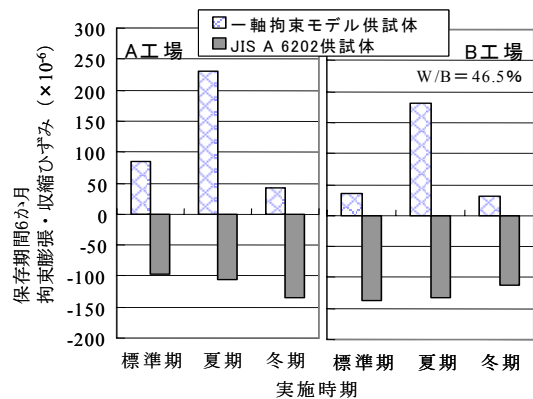


図-14 保存期間 6 か月拘束膨張・収縮ひずみ

表-5 一軸モデル供試体の保存環境

工場	項目	標準期	夏期	冬期
A	気温 (°C)	25.2	17.8	19.6
	湿度 (%)	59.2	64.5	56.6
B	気温 (°C)	24.9	13.8	19.8
	湿度 (%)	60.0	56.8	62.4

す。図-8 に示した拘束収縮ひずみの比 (収縮抑制コンクリート/プレーンコンクリート) で比較すると、保存期間 4 週で 0.62~0.74、3 か月で 0.81~0.82、6 か月で 0.84~0.88 であり、収縮低減剤添加の効果が現れている。

図-9 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膨張コンクリートに関する指針^{3), 4)}で規定する拘束膨張ひずみの標準値 150×10^{-6} 以上を満足する膨張性能が得られた。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、水結合材比別に見ると、W/B=35.1%の拘束膨張ひずみが小さくなる傾向が認められた。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として考えられる。

(3) 膨張材・収縮低減剤併用による収縮低減効果

図-10 に前述 3. に示した方法 (JIS A 129 による乾燥期間 6 か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 か月の収縮ひずみを示す。いずれの条件の場合も、高級仕様 ($650 \sim 500 \times 10^{-6}$) は無論、特級仕様 (500×10^{-6})

以下)の性能を十分に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、両工場の傾向が異なった。一度の試験結果であるため、今後、繰り返し試験を行い、再現性を確認する予定である。

4.4 一軸モデル供試体の長さ変化性状

表-5に一軸モデル供試体の長さ変化測定期間中(打込みから6か月間)の平均気温および平均湿度をまとめて示す。

(1) 乾燥収縮ひずみ

図-11に標準期における一軸無拘束モデル供試体のコンクリートひずみの測定結果を示す。収縮抑制コンクリートの材齢7日における膨張ひずみの大きさは、A工場： 466×10^{-6} 、B工場： 307×10^{-6} であった。また、保存期間6か月においてもひずみは膨張側であり、その大きさはA工場： 224×10^{-6} 、B工場： 128×10^{-6} であった。プレーンコンクリートと比較した場合、収縮抑制コンクリートの保存期間6か月における収縮ひずみの低減量は、A工場： 652×10^{-6} 、B工場： 568×10^{-6} であり、大幅な収縮抑制効果が認められた。

図-12に保存期間6か月における一軸無拘束モデル供試体とJIS A 1129 供試体の乾燥収縮ひずみの関係を示す。一軸無拘束モデル供試体の方がJIS A 1129 供試体よりも $200 \sim 350 \times 10^{-6}$ 程度乾燥収縮ひずみが小さくなる傾向が認められる。コンクリートの乾燥収縮ひずみは、供試体の体積表面積比の影響を受けるが、一軸無拘束モデル供試体の体積表面積比は、JIS A 1129 供試体の4倍であることから、乾燥収縮が小さく現れたものと考えられる。また、保存期間6か月における乾燥収縮ひずみ量の比(収縮抑制コンクリート/プレーンコンクリート)は、A工場：0.60、B工場：0.74となっており、JIS A 1129 供試体による場合(保存期間6か月においてA工場：0.67、B工場：0.77)と同程度の効果が得られている。

(2) 拘束膨張・収縮ひずみ

図-13に一軸拘束モデル供試体の拘束膨張・収縮ひずみの測定結果を示す。収縮抑制コンクリートの材齢7日における鉄筋のひずみの大きさは、A工場： 307×10^{-6} 、B工場： 273×10^{-6} であり、保存期間6か月においても膨張側で止まっている。プレーンコンクリートと比較した場合、収縮抑制コンクリートの保存期間6か月における鉄筋ひずみの低減量は、A工場： 415×10^{-6} 、B工場： 356×10^{-6} であり、鉄筋の拘束を受ける場合も大幅な収縮抑制効果が認められる。

図-14に保存期間6か月における一軸拘束モデル供試

体とJIS A 6202 供試体の拘束膨張・収縮ひずみの関係を示す。材齢6か月の時点において、JIS A 6202 供試体では収縮側となっているのに対し、一軸拘束モデル供試体では膨張側に止まっており、コンクリートには圧縮応力が残存している。この圧縮応力の大きさを、鉄筋とコンクリートの力の釣合いより求めると、 $0.04 \sim 0.23 \text{N/mm}^2$ である。また、標準期・保存期間6か月の収縮抑制コンクリートの圧縮応力とプレーンコンクリートの引張応力の差は、A工場： 0.41N/mm^2 、B工場： 0.37N/mm^2 であり、明らかな引張応力の低減効果が得られている。

以上のように、実部材レベルではJIS試験による場合よりも乾燥収縮ひずみおよび拘束収縮ひずみ(拘束引張応力)が小さくなるため、収縮抑制コンクリートによる収縮ひび割れ抑制効果がより発揮されることが期待できる。

5. まとめ

乾燥収縮ひずみ 500×10^{-6} 以下の特級仕様コンクリートの実用化を想定し、石灰石粗骨材、膨張材、収縮低減剤を併用した水結合材比を35.1%~55.6%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において標準期、夏期、冬期の3期を通じて評価した結果、以下の知見を得た。

(1) 混和剤の添加量を調節することによって目標のフレッシュ性状を満足することができた。

(2) B/Wと標準養生28日強度の関係および平均気温に応じた強度補正值(T値)は、通常のコンクリートと同様な傾向となった。

(3) 長さ変化性状は、乾燥収縮ひずみが 500×10^{-6} 程度以下となった。また、膨張材による拘束膨張ひずみを加算した見かけ上の収縮ひずみは 350×10^{-6} 以下となった。

(4) 一軸モデル供試体の長さ変化性状において、収縮抑制コンクリートは、JIS 供試体での測定結果と同様にプレーンコンクリートと比較して大幅な収縮抑制効果とともに、引張応力の明らかな低減効果が認められた。

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.
- 2) 例えば、富田六郎：超低収縮コンクリート、コンクリート工学、No.7、pp.105-109、1994
- 3) 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
- 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