

PC 箱桁に用いる高強度コンクリートの開発

唐沢 智之*1・西脇 敬一*2・川又 篤*2・佐藤 茂美*3

概 要

第二阪和国道淡輪高架橋 PC 上部工事における PC 連続箱桁には、設計基準強度 60N/mm^2 の高強度コンクリートが採用された。また、材齢 3 日において PC 緊張強度 29N/mm^2 を確保する必要がある。一方、高強度コンクリートは、単位セメント量が多くなり、結果としてコンクリートの自己収縮の増大、水和熱の増大を招く。そこで、本開発では、所要の圧縮強度、フレッシュ性状を確保するとともに、自己収縮、乾燥収縮の小さい高強度コンクリートの配合を得ることを目的とした。実験の結果、収縮低減型高性能 AE 減水剤を用いることにより乾燥収縮、自己収縮ともに大幅に低減され、通常の高性能 AE 減水剤を用いたものに比べて収縮量が半分程度となることが確認できた。

キーワード：PC 高架橋・高強度コンクリート・乾燥収縮・自己収縮・収縮低減型高性能 AE 減水剤

DEVELOPMENT OF HIGH STRENGTH CONCRETE USED FOR PRESTRESSED CONCRETE BOX GIRDERS

Tomoyuki KARASAWA *1, Keiichi NISHIWAKI *2

Atsushi KAWAMATA *2, Shigemi SATOU *3

Abstract

For the PC continuous box girder of the PC superstructure of the Tannowa viaduct on the Daini Hanwa National Highway, high strength concrete of 60 N/mm^2 in design strength was used. It was necessary to ensure a PC stressing strength of 29 N/mm^2 at 3 days. As a general rule, the unit cement content of high strength concrete is greater, resulting in larger self-shrinkage and increased heat of hydration. The development discussed in this paper intended to ensure necessary compressive strength and fresh properties, and to determine a mix proportion of high strength concrete that would reduce self-shrinkage and drying shrinkage. It was experimentally revealed that the use of a shrinkage-reducing AE superplasticizer significantly decreased drying and self-shrinkages, that is, the shrinkages were almost halved compared with concrete prepared with an ordinary AE superplasticizer.

Keywords: PC viaduct, High strength concrete, Drying shrinkage, Self-Shrinkage,

Shrinkage-Reducing AE superplasticizer

*1 Manager, Material / Structure Group, Research and Development Department, Engineering Division

*2 Material / Structure Group, Research and Development Department, Engineering Division

*3 Manager, Concrete and PC Group, Civil Engineering Technology Department, Engineering Division

PC 箱桁に用いる高強度コンクリートの開発

唐沢 智之*1・西脇 敬一*2・川又 篤*2・佐藤 茂美*3

1. はじめに

第二阪和国道淡輪高架橋 PC 上部工事における PC 連続箱桁には、設計基準強度 60N/mm^2 の高強度コンクリートが採用された。また、材齢 3 日において PC 緊張強度 29N/mm^2 を確保する必要がある。一方、高強度コンクリートは、単位セメント量が多くなり、結果としてコンクリートの自己収縮の増大、水和熱の増大を招く。本工事における高強度コンクリートの開発では、所要の圧縮強度、フレッシュ性状を確保すると

ともに、自己収縮、乾燥収縮の小さい配合を選定することを目的とした。自己収縮、乾燥収縮を低減するために、従来の高性能 AE 減水剤に収縮低減成分が付加された収縮低減型高性能 AE 減水剤を用い、配合の検討を行った。本報は、収縮低減型高性能 AE 減水剤を用いた配合と従来の高性能 AE 減水剤を用いた配合について、自己収縮、乾燥収縮を測定し、収縮低減型高性能 AE 減水剤の効果を確認した結果について報告するものである。

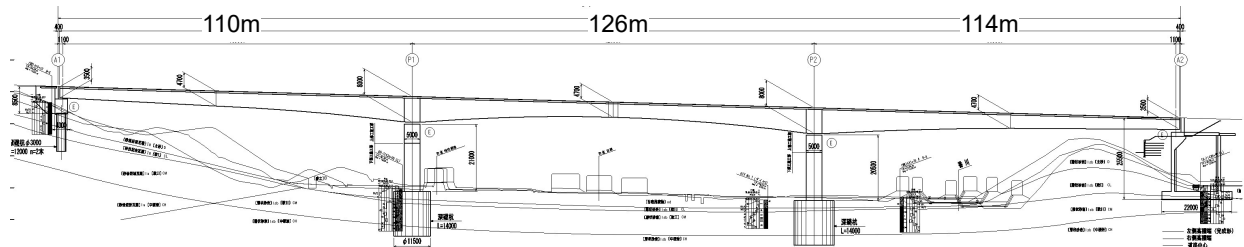


図-1 橋梁側面図

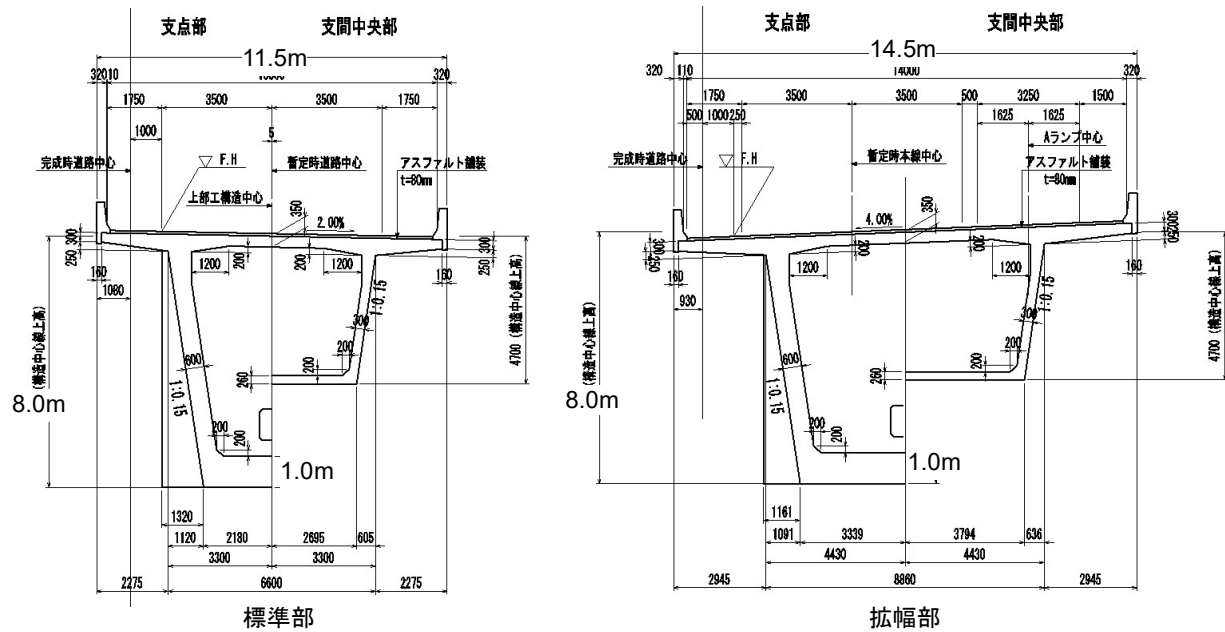


図-2 主桁断面図

*1 エンジニアリング本部 研究開発部 材料・構造グループ グループリーダー
 *2 エンジニアリング本部 研究開発部 材料・構造グループ
 *3 エンジニアリング本部 土木技術部 コンクリート・PC グループ グループリーダー

2. 工事概要

第二阪和国道淡輪高架橋は、図-1に示すように橋長352mの3径間連続PC箱桁橋である。径間割りは110m+126m+114mであり、中央径間に比べ側径間が非常に長いのが特徴である。また、図-2に示すように最大桁高は8.0m、標準幅員(全幅)は11.5mであるが、ランプ部へと繋がるため中央からP2側へ幅員が14.5mまで拡幅されている。さらに下床版の厚さは、最大で1.0mである。アンバランスな径間割りへの対応として、桁の軽量化のために施工実績の少ない60N/mm²の高強度コンクリートが採用された。工事概要を表-1に示す。

3. 配合条件

PC橋梁のコンクリートには、一般的に早強ポルトランドセメントが使用されるが、高強度コンクリートの場合、水和熱増大による温度ひび割れの発生、自己収縮増大による収縮ひび割れの発生が懸念されるため、品質向上を目的とし、本工事では普通ポルトランドセメントを使用した。

高強度コンクリートの必要性能を表-2に示す。下床版は蓋型枠をして施工する計画としたため、締固め作業が十分にできないことから、流動性および自己充てん性に優れた高流動コンクリートが必要となる。そこで、打込みの最小スランプフローを50.0cmに設定した。場内運搬によるスランプフローのロス、圧送によるロスと圧送に要する時間における経時変化を考慮し2.5cmに設定し、さらに品質管理上の許容差は、特記仕様書の通り7.5cmとした。以上より、荷卸し箇所の目標スランプフローは、50.0cm+2.5cm+7.5cm=60.0cmに設定した。空気量については、本構造物建設位置が凍害を受ける環境下でないため3.0%に設定した。乾燥収縮については、800×10⁻⁶以下を目標とした。なお、コンクリートの配合強度は、コンクリートの品質のばらつき、および初期温度履歴の影響による構造物内のコンクリートの強度低下を

表-1 工事概要

工事件名	第二阪和国道淡輪高架橋 PC 上部工事	
発注者	国土交通省近畿地方整備局浪速国道事務所 第二阪和国道監督官詰所	
施工場所	大阪府泉南郡岬町淡輪地先	
工期	平成21年9月16日～平成23年1月31日	
工事内容	形式	PC3 径間連続箱桁橋(1室箱桁)
	橋長	L=352m
	支間長	109.5m+126.0m+113.5m
	桁高	H=8m～3.5m
	幅員	11.15m～14.75m
	縦断勾配	2.8%(一定)
	横断勾配	2%～-4%
施工方法	張り出し架設工法 (大型移動作業車使用)	

表-2 高強度コンクリートの必要性能

必要性能				評価値
フレッシュ時	流動性	スランプフロー	(cm)	60.0±7.5
	材料分離抵抗性	50cm フロー到達時間	(秒)	3～15*
	空気量		(%)	3.0±1.5
硬化後	圧縮強度	材齢28日 (設計基準強度)	(N/mm ²)	60.0以上
		材齢3日 (PC緊張強度)	(N/mm ²)	29.0以上
	長さ変化率		(×10 ⁻⁶)	800以下*
	自己収縮		(×10 ⁻⁶)	-

※:目標値

表-3 高強度コンクリートの配合と使用材料

配合No.	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)							
			W	C*	EX	S1	S2	G	SP1	SP2
1	32.8	51.0	175	533		573	245	804	10.66	
2	30.0	49.6	175	584		543	231	804	12.26	
3	32.8	51.0	175	533		573	245	804		5.33
4	32.8	51.0	175	513	20	573	245	804	10.66	

※:普通ポルトランドセメント(配合 No.1, 3, 4), 早強ポルトランドセメント(配合 2)

C: 普通ポルトランドセメント 密度 3.16g/cm³,比表面積 3270cm²/g

早強ポルトランドセメント 密度 3.14g/cm³,比表面積 4850cm²/g

EX: 膨張材 密度 3.05g/cm³

S1: 福岡県北九州市白島沖産海砂

表乾密度 2.56g/cm³,粗粒率 2.70

S2: 兵庫県姫路市家島町西島産砕砂

表乾密度 2.56g/cm³,粗粒率 2.90

G: 兵庫県姫路市家島町西島産 2005 砕石

表乾密度 2.62g/cm³,実績率 58.0%

SP1: ポリカルボン酸系収縮低減型高性能 AE 減水剤

密度 1.09g/cm³

SP2: ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤 密度 1.06g/cm³

考慮し、76.5N/mm²とした。

4. 試験概要

4.1 コンクリートの配合と使用材料

コンクリートの配合と使用材料を表-3に示す。コンクリートに使用する材料は、実施工で使用されるレディーミクストコンクリート工場に

既存されるものとした。なお、骨材については、JIS A 1122「硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験」、JIS A 1145「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法(化学法)」を行い、規格値を満足したものを用いた。配合 No.1 は普通ポルトランドセメント、収縮低減型高性能 AE 減水剤を用いた配合、配合 No.2 は配合 No.1 に対して早強ポルトランドセメントを用いた配合、配合 No.3 は配合 No.1 に対して通常使用されている高性能 AE 減水剤を用いた配合、配合 No.4 は配合 No.1 に対して膨張材を用いた配合である。配合 No.1 と配合 No.4 は、実施工で使用した配合であり、配合 No.2 と配合 No.3 は比較用の配合である。

4. 2 試験項目と試験方法

コンクリートの試験項目および試験方法を表-4に示す。練混ぜ5分後に実施したフレッシュコンクリートの試験において、所要のフレッシュ性状が得られた配合を暫定配合とし、硬化後の試験用の供試体を採取した。

5. 試験結果

5. 1 フレッシュ性状

フレッシュコンクリートの試験結果を表-5に示す。

全ての配合とも、練混ぜ5分後の試験において、全ての試験項目について所要の性能を満足しており、良好な流動性、材料分離抵抗性が得られた。

5. 2 圧縮強度

圧縮強度試験結果を図-3に示す。

全ての配合とも、材齢28日の圧縮強度は、設計基準強度を満足するとともに、配合強度以上であった。材齢3日のPC緊張強度についても、必要強度を十分に満足していた。早強ポルトランドセメントを用いた配合 No.2 の材齢7日の圧縮強度は、普通ポルトランドセメントを用いた配合 No.1 の材齢28日の圧縮強度と同程度であった。また、配合 No.1 のヤング係数は37.7kN/mm²であり、土木学会標準示方書 Ⅱに

表-4 試験項目および試験方法

試験項目		試験方法
フレッシュ時	スランブフロー	JIS A 1150 コンクリートのスランブフロー試験方法
	50cm フロー到達時間	
	空気量	JSCE-F 513 高流動コンクリートの空気量の圧力による試験方法(空気室圧力法)(案)
硬化後	圧縮強度	JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法(材齢3日, 7日, 28日) 材齢3日は封かん養生, 7日, 28日は標準養生 供試体の作成は, JSCE-F 515 高流動コンクリートの強度試験用供試体の作り方(案)
	乾燥収縮	JIS A 1129-2 モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法(ダイヤルゲージ法)
	自己収縮	JCI 超流動コンクリート研究委員会 高流動コンクリートの自己収縮試験方法

表-5 試験項目および試験方法

配合 No.	フロー (cm)	平均フロー (cm)	7日-時間(sec)		空気量 (%)	温度 (°C)
			50cm	停止		
1	64.8×63.6	64.2	5.0	35.9	3.0	20.0
2	58.8×57.5	58.2	6.6	28.8	3.1	20.0
3	58.5×57.6	58.1	5.8	30.2	1.9	20.0
4	66.6×65.0	65.8	5.2	39.4	3.2	21.0

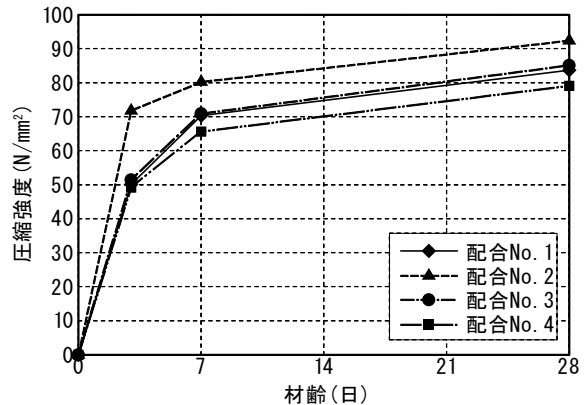


図-3 圧縮強度試験結果

示されている圧縮強度との関係とほぼ一致した。

5. 3 自己収縮

材齢7日までの自己収縮の試験結果を図-4に示す。

収縮低減型高性能 AE 減水剤を用いた配合 No.1 の自己収縮は、通常使用されている高性能 AE 減水剤を用いた配合 No.3 の自己収縮よりも150μ小さくなっており、収縮低減型高性能 AE 減水剤を用いることにより、自己収縮が大幅に低減されることが確認された。また、収縮低減型高性能 AE 減水剤と膨張材を用いた配合 No.4 の自己収縮は、ほとんど収縮ひずみが発生しておらず、膨張材による効果が確認された。一方、

早強ポルトランドセメントを用いた配合 No.2 の自己収縮は、収縮低減型高性能 AE 減水剤を用いても、通常使用されている高性能 AE 減水剤を用いた普通ポルトランドセメントの場合と同程度の自己収縮となっており、早強ポルトランドセメントを用いた配合の自己収縮が大きいことが確認された。

5. 4 乾燥収縮

乾燥材齢 182 日までの乾燥収縮の試験結果を図-5 に示す。

収縮低減型高性能 AE 減水剤を用いた配合 No.1 の乾燥収縮は、通常使用されている高性能 AE 減水剤を用いた配合 No.3 の乾燥収縮よりも最終収縮ひずみが 160μ 小さくなっており、収縮低減型高性能 AE 減水剤を用いることにより、乾燥収縮が低減されることが確認された。また、膨張材を混入した配合 No.4 の乾燥収縮は、膨張材を混入していない配合 No.1 の乾燥収縮よりも最終収縮ひずみが 40μ 小さくなった。早強ポルトランドセメントを用いた配合 No.2 の乾燥収縮は、普通ポルトランドセメントを用いた配合 No.1 よりも小さかった。

5. 5 総収縮量

材齢 7 日までの自己収縮に乾燥材齢 182 日までの乾燥収縮を加えた総収縮量を図-6 に示す。

収縮低減型高性能 AE 減水剤を用いた配合 No.1 の総収縮量は 741μ であった。土木学会標準示方書²⁾では、材齢 6 ヶ月以降の収縮分を 200μ 見込んでおり、この収縮分を考慮しても、土木学会標準示方書に示されている設計で用いる収縮ひずみの最終値の 1200μ を大幅に下回った。収縮低減型高性能 AE 減水剤と膨張材を用いた配合 No.4 の総収縮量は、4 種類の配合の中で最も小さかった。配合 No.2 は、早強ポルトランドセメントを用いているため自己収縮が大きい乾燥収縮は小さく、総収縮量は普通ポルトランドセメントを用いた配合 No.1 とほぼ同等であった。一方、通常使用されている高性能 AE 減水剤を用いた配合 No.3 の総収縮量は、

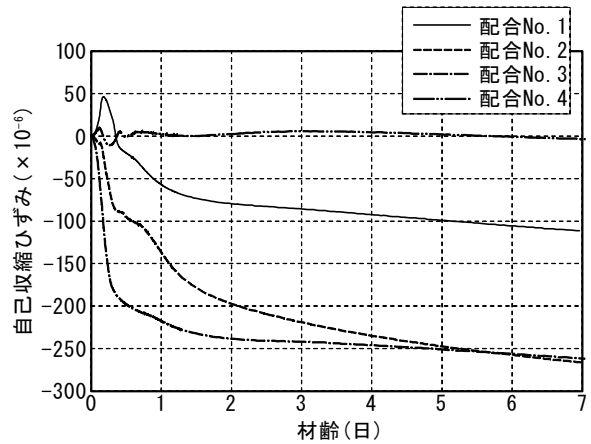


図-4 自己収縮試験結果

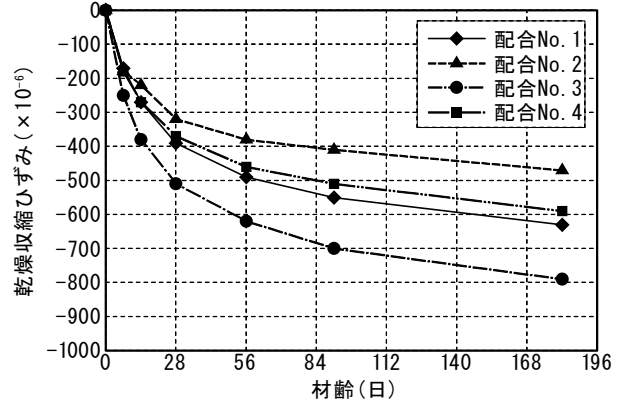


図-5 乾燥収縮試験結果

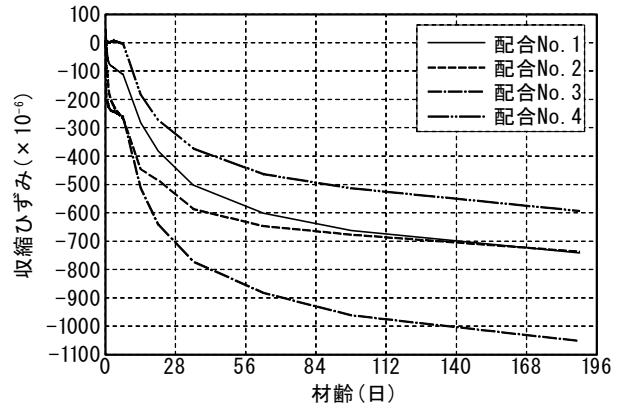


図-6 総収縮量(自己収縮と乾燥収縮の和)

1000μ を超えており、収縮低減型高性能 AE 減水剤を用いた配合 No.1 よりも 310μ 大きく、収縮低減型高性能 AE 減水剤による総収縮量の低減効果が確認された。

5. 6 乾燥収縮迅速法との比較

コンクリートの乾燥収縮ひずみは、 $100\times 100\times 400\text{mm}$ の角柱供試体を用い、182 日測定を行うことで評価を行っている。ここでは、182 日かかるコンクリートの乾燥収縮ひずみ試験を、早期に判定する手法について検討を行った。

試験には、試験室で作成した $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ の角柱供試体と $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ の角柱供試体よりコア抜きした $\phi 50 \times 100\text{mm}$ の円柱コア供試体を用いた。コア供試体の上面および底面はエポキシ樹脂で封かんし、円柱供試体の側面を乾燥面とした。 $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ の角柱供試体については、JIS A 1129-2 モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法(ダイヤルゲージ法)に準拠した。ただし、試験体数は1体とした。乾燥収縮ひずみの測定は、温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $60 \pm 5\%$ の恒温恒湿度室内で行った。コンクリートは打設後 24 時間型枠内に置き、7 日間水中養生した後、乾燥試験を開始した。なお、配合 No.1 については、水中養生期間を3日間とした場合についても試験を行った。 $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ 角柱供試体の乾燥期間 182 日の乾燥収縮ひずみと $\phi 50 \times 100\text{mm}$ 円柱コア供試体の乾燥期間 42 日の乾燥収縮ひずみの関係を図-7に示す。

$100 \times 100 \times 400\text{mm}$ の角柱供試体の乾燥期間 182 日の乾燥収縮ひずみは、既往の報告²⁾と同様に、乾燥期間 42 日における $\phi 50 \times 100\text{mm}$ の円柱コア供試体の値とほぼ一致した。従って、 $\phi 50 \times 100\text{mm}$ の円柱コア供試体を用いれば、 $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ の角柱供試体で 182 日間要する試験を、42 日間で判定することが可能になるものと思われる。

6. まとめ

本実験の結果、所要の圧縮強度、良好なフレッシュ性状を確保するとともに、自己収縮、乾燥収縮の小さい高強度コンクリートの配合が得られた。得られた知見を以下に示す。

- (1) 圧縮強度については、材齢 3 日の PC 緊張時の必要強度を十分に満足していた。また、材齢 28 日の圧縮強度についても、設計基準強度を満足するとともに、配合強度以上であった。
- (2) 自己収縮については、収縮低減型高性能 AE 減水剤を用いることにより大幅に低減され、

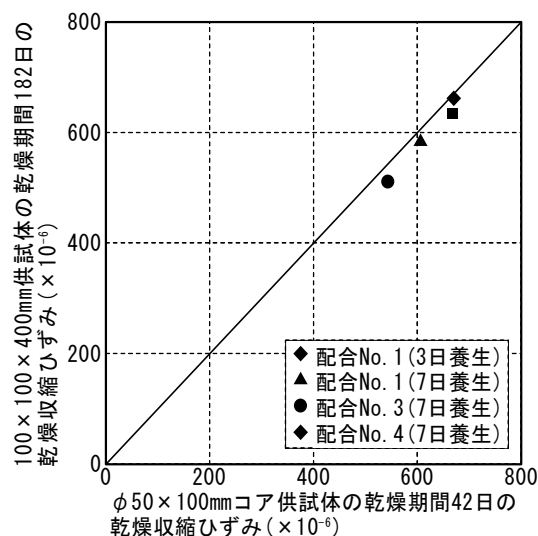


図-7 $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ 供試体の乾燥期間 182 日の乾燥収縮と $\phi 50 \times 100\text{mm}$ コア供試体の乾燥期間 42 日の乾燥収縮の関係

通常の高性能 AE 減水剤を用いたものに比べて半分程度となることが確認できた。さらに、早強セメントを用いた配合の自己収縮が大きいことが確認できた。

- (3) 乾燥収縮については、収縮低減型高性能 AE 減水剤を用いることにより低減されることが確認できた。
- (4) $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ の角柱供試体の乾燥期間 182 日の乾燥収縮ひずみが、乾燥期間 42 日における $\phi 50 \times 100\text{mm}$ の円柱コア供試体の値とほぼ一致することが確認できた。

謝辞

乾燥収縮迅速法試験を遂行するに当たり、ご指導下さいました岡山大学の綾野克紀教授には、厚く御礼申し上げます。また、本実験実施に当たりご協力頂きました和泉生コンクリート(株)、BASF ポゾリス(株)の関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会、コンクリート標準示方書 設計編 pp.44-49, 2007
- 2) 藤井隆史, 谷口高志, 渡辺純一, 綾野克紀: コア供試体を用いた乾燥収縮ひずみの早期判定試験に関する研究, 土木学会, 年次学術講演会講演概要集, Vol.65 巻, pp.755-756, 2010